Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis

Herausgeber und Leiter
des Autorenkollektivs
Herbert Hörz und Ulrich Röseberg

Mit einem aktuellen Vorwort
von
John Erpenbeck

Verlag Max Stirner Archiv / edition unica Leipzig

Autoren

Kapitel I
Herbert Hörz,
Ulrich Röseberg

Kapitel II
1. John Erpenbeck,
Herbert Hörz,
Ulrich Röseberg
2. John Erpenbeck
3.1. Rolf Löther
3.2. Ulrich Röseberg
3.3. Nina Hager
3.3.1. Herbert Hörz
3.4. Evelyn Dölling
3.5. Heinz Liebscher
3.6. John Erpenbeck

Kapitel III
1., 2. Ulrich Röseberg
3. Fritz Gehlhar
4. Ulrich Röseberg
5. Fritz Gehlhar

Kapitel IV
Rüdiger Simon

Kapitel V
Rolf Löther

Kapitel VI
1. Fritz Gehlhar
2. Klaus Buttker
3.1. Petra Gentz-Werner
3.2. Rolf Löther
3.3.-3.5. Klaus Buttker
4. Klaus Wenig
5. Bernd Eichler,
Rolf Löther

Verlag Max Stirner Archiv / edition unica Leipzig 2013

Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis

Herausgeber und Leiter
des Autorenkollektivs
Herbert Hörz und Ulrich Röseberg

Mit einem aktuellen Vorwort von
John Erpenbeck

Verlag Max Stirner Archiv / edition unica Leipzig 2013

Verlag Max Stirner Archiv / edition unica Leipzig 2013

Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis
Herausgeber und Leiter des Autorenkollektivs: Herbert Hörz und Ulrich Röseberg
Mit einem aktuellen Vorwort von John Erpenbeck

Inhalt

Vorwort 2013 9
Vorwort 17

Kapitel I: Materialistische Dialektik und Naturwissenschaften 20
1. Problemlage und Forschungsstand 20
2. Materialistische Dialektik als Theorie, Methode und Methodologie. 24
3. Drei Ebenen der Dialektik 27
4. Grundprinzipien der Theorie der materialistischen Dialektik 29
4.1 Prinzip der Unerschöpflichkeit der Materie 29
4.2 Prinzip der Strukturiertheit der Materie 30
4.3 Prinzip der dialektischen Determiniertheit 31
4.4 Prinzip der Entwicklung 33
5. Dialektik als Heuristik der naturwissenschaftlichen Forschung 37

Kapitel II: Natur und Erkenntnis 39
1. Natur und Erkenntnis 39
1.1 Vorläufige Begriffserklärungen 39
1.2 Versuch zur kulturtheoretischen Präzisierung des Natur- und Erkenntnisbegriffs 46
1.2.1 Wissenschaftsentwicklung als Moment welthistorischer Kulturentwicklung 46
1.2.2 Kulturstufen, Wissenschaftstypen und Naturerkenntnis 52
1.3 Wissenschaftliche Erkenntnisse über die natürlichen und gesellschaftlichen Voraussetzungen der Naturerkenntnis 62
2. Prinzipien der Naturerkenntnis 71
2.1 Widerspiegelung 76
2.2 Wahrheit 80
3. Methoden der Naturerkenntnis 85
3.1 Beobachtung, Vergleich und Klassifikation. 86
3.2 Messprozess und Größenbildung 94
3.2.1 Physikalische Größen und physikalischer Messprozess 95
3.2.2 Protophysikalische Begründung physikalischer Messgrößen. 97
3.2.3 Erweiterung des Größenbegriffs 98
3.3 Experiment – Modell – Theorie 100
3.3.1 Die Stellung von Experiment, Modell und Theorie im Erkenntnisprozess der Wissenschaften. 100
3.3.1.1 Das Experiment als objektiver Analysator der Wirklichkeit . 101
3.3.1.2 Zum Verhältnis von Experiment und Theorie 102
3.3.2 Die Rolle des Modells im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess . . 104
3.3.2.1 Modell und Widerspiegelung 105
3.3.2.2 Stufen der Modellierung 108
3.3.2.3 Modell und Theorie 109

3.4 Symbolisierung, Formalisierung, Wissenschaftssprachen und Logik . . . 110
3.4.1 Symbolisierung . . . 110
3.4.2 Formalisierung . . . 111
3.4.3 Formalisierung und Wissenschaftssprachen . . . 113
3.4.4 Formale und natürliche Sprachen . . . 116
3.5 Mathematisierung . . . 116
3.6 Einzelwissenschaftliche Reduktionen und philosophischer Reduktionismus . . . 123

Kapitel III: Dialektik der physikalischen Erkenntnis. . . . 128
1. Objekte, Theorien und Methoden der Physik . . . 131
1.1 Zur Geschichte des Physikverständnisses . . . 131
1.2 Philosophische Reflexionen zur Physik der Neuzeit . . . 139
1.2.1 Mathematisierung der Physik . . . 140
1.2.2 Dialektik als methodische Voraussetzung der Physik der Neuzeit . . 145
1.2.3 Dialektische Widersprüche in der physikalischen Bewegungsform der Materie . . . 149
2. Physik der mittleren Dimensionen – klassische Physik . . . 153
2.1 Teilchen- und Feld-Objektverständnis der Mechanik und der Elektrodynamik . . . 154
2.2 Thermodynamische Systeme und statistische Gesamtheiten – zum dialektischen Zusammenhang zweier materieller Strukturniveaus . . 158
2.3 Determinationstypen physikalischer Bewegungsgleichungen . . . 160
2.4 „Klassische“ und „moderne“ Physik . . . 164
3. Relativitätstheorie und evolutionärer Kosmos . . . 164
3.1 Relativitätserkenntnis – Eindringen in die Dialektik des Zusammenhangs . . . 164
3.2 Das Relativitätsprinzip – philosophische Deutungen . . . 166
3.3 Symmetrie und Gesetz . . . 169
3.4 Symmetriebrüche, Wechselwirkungen und Strukturbildung . . . 172
3.5 Relativistische Kosmologie und evolutionäres Weltbild der Wissenschaften. . . . 174
3.6. Die Erkennbarkeit des Kosmos . . . 177
3.7 Das Anthropische Prinzip . . . 180
4. Quantentheorie und Elementarteilchen . . . 184
4.1 Dialektik der nichtrelativistischen Quantenmechanik . . . 184
4.2 Das Objektverständnis der nichtrelativistischen Quantentheorie . . . 190
4.3 Relativistische Erweiterungen der Quantentheorie . . . 193
4.4 Zum Zusammenhang materieller Strukturniveaus . . . 199
5. Theorien der Selbstorganisation und Evolution . . . 204
5.1 Zur Dialektik von Quantität und Qualität . . . 207
5.2 Selbstorganisation und dialektischer Widerspruch . . . 211
5.3 Selbstorganisation und Evolution . . . 211

Kapitel IV: Dialektik der chemischen Erkenntnis 217
1. Objekte, Theorien und Methoden der Chemie 217
2. Dialektik von Element und System in der Chemie 230
3. Dialektik von Struktur und Prozess in der Chemie 236

Kapitel V: Dialektik der biologischen Erkenntnis 243
1. Objekte, Theorien und Methoden der Biologie 243
2. Taxonomie und Phylogenetik 255
3. Biologische Evolutionstheorien im Wandel 273
4. Individualentwicklung und Evolution 284
5. Die Entstehung von Neuem und Höherem in der Evolution 297

Kapitel VI: Evolutionärer Kosmos und Mensch 313
1. Kosmische Evolution. 317
1.1 Nachdenken über den Anfang 317
1.2 Vom Urknall zum Menschen – Szenarium der kosmischen Evolution. . . 319
1.3 Dialektik von Anfang und Ewigkeit 324
1.3.1 Zur Frage der Weltanfänge. 327
1.3.2 Singularität und Erkennbarkeit 328
1.3.3 Zum Problem des Zeitanfangs 330
1.3.4 Weltentstehung aus dem Nichts?. 331
1.4 Quantengeburt des Kosmos – neue physikalische Ideen zum Entstehen von Welten 332
1.5 Selbstorganisation und Evolution 334
1.6 Die Strukturreserven der kosmischen Evolution – zur Thermodynamik des expandierenden Kosmos 338
2. Physikochemische Evolutionsprozesse. 341
2.1 Entstehung der chemischen Elemente und Herausbildung des molekularen Strukturniveaus 342
2.2 Möglichkeiten molekularer Evolution unter kosmischen Bedingungen . . 349
3. Präbiotische Evolution 355
3.1 Grundpositionen zur Herkunft des Lebens 355
3.2 Geoevolution und präbiotische Evolution 357
3.3 Entwicklungspotenzen der chemischen Bewegungsform der Materie . . . 363
3.4 Modelle präbiotischer Evolution 369
3.5 Entstehung des genetischen Kodes. 372
4. Biotische Evolution 376
4.1 Vielfalt zellulärer Organisation. 378
4.2 Evolution der Pflanzen 387
4.3 Evolution der Tiere. 391
5. Anthropogenese 399
5.1 Wendepunkt der Evolution 400
5.2 Tier – Mensch – Übergangsfeld 405
5.3 Evolution des menschlichen Arbeitsprozesses 408

Vorwort 2013[1]

Im Jahre 1990 erschien das hier vorliegende Werk – herausgegeben von zwei maßgeblichen Wissenschaftsforschern und -philosophen der DDR – *nicht*.

Obwohl bereits Druckfahnen vorlagen[2], die der Philosoph Kurt W. Fleming jetzt auf so dankenswerte und sachkundige Weise der Öffentlichkeit wieder zugänglich machte, wurde das Werk infolge der „Wende" nicht gedruckt, die Rechte wurden an die Herausgeber zurückgegeben; zwanzig Jahre war es zwar nicht verboten und verbrannt, aber doch vergessen und verbannt. Verbannt aus dem zeitgenössischen philosophischen Diskurs, verbannt aus den Gefilden gegenwärtiger Dialektik, verbannt war auch die Mehrzahl der Autoren aus dem Wissenschaftsleben, die zu jenen etwa 24.000 Mitarbeitern der Akademie der Wissenschaften gehörten, die kurzfristig, mit nur wenigen Auffanghilfen für Wenige, entlassen wurden.

Aber das alles, und nicht einmal der 80. Geburtstag des wahrlich schulenbildenden Gelehrten Herbert Hörz, wären Anlass genug, einen nicht leicht zu lesenden Text von im Original fast 500 Seiten neu zu edieren. Dafür gibt es sehr viele andere, gute Gründe, die im Werk selbst zu finden sind. Ein paar davon seien hier skizzenhaft aufgezählt.

1. Zu diesen Gründen gehört zunächst die Vorgeschichte des Bandes. 1981 war das Buch „Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis" des Bereichs „Philosophische Fragen der Wissenschaftsentwicklung" erschienen. Der Bereich gliederte sich, abgekürzt, in die Teilbereiche Physik, Technikwissenschaft, Chemie, Biologie, Psychologie, Mathematik/Kybernetik und Logik. Ich selbst habe den Bereich trotz dominierender Persönlichkeiten wie eben der Herausgeber dieses Bandes als sehr kreativitätsfördernd und für DDR-Verhältnisse sehr liberal erlebt. Das mögen andere anders sehen, eine unvoreingenommene Prüfung des hier vorliegenden Textmassivs wird mir, vermute ich, recht geben. Unvergessen ist und bleibt für mich in diesem Zusammenhang mein Freund und Kollege, der leider furchtbar früh verstorbene Physiker Ulrich Röseberg, dessen Nils-Bohr-Buch 1995 ein glanzvolles Revival erlebte und dessen Gedankengängen das ganze Buch durchweben. Aufgrund der Diskussionen im Bereich und in der Philosophy-of-Science-Community beschlossen wir, die Forschungen zur Dialektik in zwei Richtungen weiterzuführen. Erstens wollten wir die Beziehungen der manchmal etwas naiven

1 **Die hier vorliegende digitale Neuherausgabe ist dem Geburtstag von Herbert Hörz, am 12. August 2013, gewidmet.**

2 Diese Druckfahnen sind inzwischen aufgrund des Alters und von Bindefehlern teilweise lädiert; nicht immer konnte, zum Glück nur an wenigen Stellen, deshalb der Originaltext wortgetreu wiederhergestellt werden. Fehlender Text wird durch [...] gekennzeichnet.

„Dialektik der Natur“ und der komplizierten Dialektik des Erkenntnisprozesses dieser Natur vertiefter und vielseitiger untersuchen. Zweitens wollten wir auch andere Gebiete, nicht nur Physik und Biologie, berücksichtigen. Dazu waren inzwischen viele weitere Publikationen aus dem Bereich sowie von anderer Seite erschienen. In der zweiten Hälfte der achtziger Jahre reifte die Überzeugung, dass es eines neuen, zusammenfassenden Werkes bedurfte, um die intensive internationale Debatte über Naturdialektik auf erweiterter Basis, argumentativ begründet, fortzuführen. Unter Philosophen im In- und Ausland gab es dazu natürlich die unterschiedlichsten Auffassungen.

2. Der Philosophiehistoriker Manfred Buhr hat einmal vorgeschlagen, die Geschichte der nichtmarxistischen Philosophie mit Blick auf die fundamentale Gegensätzlichkeit von Positivismus und Lebensphilosophie zu betrachten.[3] Ob das ein langfristig tauglicher Vorschlag ist, mögen Philosophiehistoriker entscheiden. Ganz sicher aber scheint mir, dass Buhr die Bemühungen marxistischer Philosophen um die Dialektik der Natur unter einer ähnlichen Rasterung sah. Sie (ver)führte ihn dazu, an dem von ihm geleiteten „Zentralinstitut für Philosophie“ einen Schulenwettstreit zu etablieren, in dem Weite und Vielfalt naturphilosophischen Denkens, wie sie der hier vorliegende Band demonstriert, mit der Enge und Einseitigkeit dogmatisch zugespitzter Positionen in Punkto Dialektik kollidierte.[4] Ich habe mich zur Kontroverse hinreichend geäußert[5]; hier will ich einfach die überdauernden, aber auch die zeitgeschichtlich vielleicht interessanten Ergebnisse unserer Arbeit skizzenhaft hervorheben.[6]
3. Wollte man ein kurzes Resümee unseres Buches formulieren, dann vielleicht so:

3 Buhr, M. (1988): Tendenzen, grundlegende Denkweisen, Krise der spätbürgerlichen Philosophie (III Grundlegende Denkweisen: Positivismus und Lebensphilosophie). In: ders. (Hrg.): Enzyklopädie zur bürgerlichen Philosophie im 19. und 20. Jahrhundert. Leipzig. S. 39 f.
4 Diese Wettstreitabsicht sieht übrigens die damalige Leiterin des Bereichs Diamat (Dialektischer Materialismus) ganz ähnlich, obgleich ihre Schlussfolgerungen zur Debatte den meinen diametral entgegengesetzt sind: „Er, so Buhr, wolle Ruben als Gegenpart zu Herbert Hörz am Institut haben; und von seinem Stellvertreter … habe ich wiederholt den Satz gehört: ‚Wir haben Ruben als Gegengewicht gegen die undialektischen Auffassungen von Hörz geholt.‘ Diese Botschaft hat gewiss auch das Ohr von Hörz erreicht und ihn in Kampfbereitschaft versetzt.“ Letzteres stimmt sicher, zumal es mit einer massiven Verunglimpfung von Georg Klaus, dem vielleicht wirkmächtigsten Philosophen der DDR und Lehrer von Herbert Hörz verbunden war, vgl. Warnke, C. (2010): http://www.peter-ruben.de/frames/files/Kritik/Warnke%20-%20Nicht%20mit%20dem%20Marxismus-Leninismus%20vereinbar!.pdf
5 Erpenbeck, J. (1990): Zur Auffassung von der Wissenschaft, insbesondere von der Naturwissenschaft bei Peter Ruben. In: Rauh, H.-C.: Der gefesselte Widerspruch – Die Affäre um Peter Ruben. 1991. Berlin. S. 191-199.
6 Dazu Hörz, H. (2009): Materialistische Dialektik. Aktuelles Denkinstrument zur Zukunftsgestaltung. Berlin.

(1.) Wir haben gezeigt, wie man neue einzelwissenschaftliche Erkenntnisse philosophisch mit Hilfe eines Herangehens analysiert, das man als philosophische Verallgemeinerung solcher Erkenntnisse charakterisieren kann.
(2.) Wichtigste Grundlage ist dabei ein auch philosophisches Ernstnehmen der Erkenntnisse von Wissenschaftlern, ohne Besserwisserei und ohne ideologische Abstempelei.
(3.) Vielmehr werden die Erkenntnisse als heuristische Hinweise betrachtet, die ewigen Fragen der Philosophie neu und unter neuen Randbedingungen zu durchdenken, ohne bestimmte einzelwissenschaftliche Denkrichtungen zu bevorzugen.
(4.) Die dialektische Konzeption von Determiniertheit und Entwicklung mit Zufällen und Möglichkeitsfeldern, später unter Einbeziehung von Selbstorganisationsgedanken, hat geholfen, das Material weltanschaulich-philosophisch zu strukturieren.
(5.) Das Buch hat historische Bedeutung, weil es nachweist, dass damals wissenschaftliche Erkenntnisse, die philosophische Relevanz hatten, nicht dogmatisch zurechtgebogen wurden, sondern dass der damalige Stand konstruktiv-kritisch und unter Zurückweisung philosophisch-weltanschauliche Kurzschlüsse argumentativ aufgearbeitet wurde.
(6.) Aktuell hat das Buch noch heute Bedeutung, weil es der teilweisen Zersplitterung naturphilosophischen Denkens entgegensteht und philosophische Konzeptionen anbietet, die möglicherweise auch heute noch tragfähig sind oder zumindest Probleme benennt, die auch heute noch offen sind.
(7.) Welträtsel werden eben nur schrittweise gelöst.

Zu diesen Punkten jetzt einige, natürlich subjektiv akzentuierte Anmerkungen.

4. Die Konzeption philosophischer Verallgemeinerung einzelwissenschaftlicher, insbesondere naturwissenschaftlicher Erkenntnisse hatte von Anfang an ernstzunehmende Gegner. Das setzt sich bis in die Gegenwart fort, wenn auch zum Glück nicht mehr im Rahmen marxistischer Auseinandersetzungen. Jedes Mal, wenn sich Physiker (Selbstorganisationstheorie, Chaostheorie), Biologen (Evolutionstheorie), Neurophysiologen und -psychologen (Willenstheorie) usw. wagen, philosophische Schussfolgerungen aus ihren Forschungen zu ziehen, werden sie von Philosophen – mit besseren oder schlechteren Argumenten – angepöbelt. Solche Besserwisserei nahm im Rahmen marxistischen Philosophierens die besonders unangenehme Form der Bevormundung durch die „Hauptverwaltung ewiger Wahrheiten“ an, in besonderem Maße natürlich bei den Human- und Sozialwissenschaften. Dem war die Idee der philosophischen

Verallgemeinerung entgegengesetzt,[7] die unter einer wissenschaftlichen Philosophie eine solche verstand, die „philosophische Aussagen unterschiedlichen Allgemeinheitsgrades kennt und anerkennt (philosophische Grundprinzipien, präzisierte philosophische Aussagen, philosophische Hypothesen) und die im Prozess der Verallgemeinerung (beispielsweise aus naturwissenschaftlichen Theorien, Experimenten und Hypothesen) den eigentlichen philosophischen Erkenntnisprozess sieht."[8] Damit lassen sich Funktionen der Naturwissenschaften für die Philosophie, aber auch der Philosophie für die Naturwissenschaften formulieren. Von den letzteren die wichtigste war die heuristische Funktion: Philosophie sollte und konnte bei der Lösung wissenschaftlicher Probleme anregend helfen, aber sie niemals garantieren und schon gar nicht dekretieren, was nun die richtige sei.[9] Es ging um die erkenntnisfördernde Teilnahme an den Diskussionen um naturwissenschaftliche Probleme. Dieser Verallgemeinerungsprozess wurde detailliert untersucht und dargestellt.

Aus heutiger Sicht garantierte er aber vor allem eines: Naturwissenschaftler und Naturwissenschaftlerinnen, selbst wenn sie stockreaktionär und weltanschaulich verbohrt waren, wurden in ihren wissenschaftlichen Ergebnissen und in ihren philosophischen Überlegungen ernst genommen, diese wurden ohne Zorn und Eifer analysiert und auf ihr weltbildformendes Potenzial hin abgeklopft. Die Unterscheidung philosophischer Aussagen unterschiedlichen Allgemeinheitsgrades ermöglichte es, philosophische Grundprinzipien des Marxismus als Rahmen anzuerkennen, aber sich innerhalb dieses Rahmens relativ frei und offen zu bewegen. Das haben einige natürlich mehr, andere weniger genutzt, wie es die Texte unseres Buches ausweisen.

5. Eine weitere wichtige Grundlage war die Konzeption statistischer Gesetze, die Hörz entwickelt hatte und durch die Jahre insgesamt und im Detail immer weiter entwickelte. Das begann großartig mit den Büchern „Der dialektische Determinismus" und „Atome, Kausalität, Quantensprünge" sowie mit seiner Werner Heisenberg Monografie[10], Werke, durch die ich mich früh zu ihm hingezogen fühlte, und es endet noch lange nicht in den großen Entwürfen zur Glaubens- und zur Friedensproblematik, die er nach der Wende verfasste.[11] Eine zentrale

7 Vgl. Hörz, H. (1986): Was kann Philosophie? Gedanken zu ihrer Wirksamkeit. Berlin. insbes. S. 10 ff.

8 Erpenbeck, J., Hörz, H. (1977): Philosophie contra Naturwissenschaft? Berlin. S.29

9 Vgl. Hörz, H. (2000): Naturphilosophie als Heuristik? Korrespondenz zwischen Hermann von Helmholtz und Lord Kelvin (William Thomson). Marburg.

10 Diese Titel finden sich vielfach zitiert im vorliegenden Text und sind auf der Website des Max Stirner Archivs nachlesbar: http://max-stirner-archiv-leipzig.de/philosophie.html

11 Z. B. in Hörz, H. (2007): Wahrheit, Glaube und Hoffnung. Philosophie als Brücke zwischen Wissenschaft und Weltanschauung. Berlin; Hörz, H. (2010): Sind Kriege gesetzmäßig? Standpunkte, Hoffnungen, Handlungsorientierungen. Berlin.

Rolle spielte in seinem Denken das Verständnis der fundamentalen Bedeutung statistischer Gesetze und die Erforschung des Verhältnisses von dynamischen und statistischen Gesetzen, was in späteren Arbeiten zur generellen Untersuchung des Zufalls erweitert wurde. Statistische Gesetze wurden als Einheit von dynamischen, stochastischen und probabilistischen Gesetzesaspekten erfasst und beschrieben.[12] Das hatte den unvergleichlichen Vorteil, dem bewusst oder unbewusst an Newton orientierten mechanischen Determinationsdenken, dem selbst Marx und Engels bei allen Dialektikversicherungen zuweilen anhingen, radikal zu durchbrechen und neue Sichten vor allem auf soziale, insbesondere historische Entwicklungsprozesse zu entfalten. Diese Sichten signalisierten schon weit vor der Wende, dass es einen so zu sagen quasimechanisch vorgezeichneten Weg zum Sieg des Sozialismus nicht geben kann und nicht geben wird. Wir haben uns schon recht früh auch mit philosophischen Konsequenzen der Selbstorganisations- und Chaosforschung auseinandergesetzt, wie unser Buch ausweist; dieses neue Denken fiel auf einen durch die statistische Gesetzeskonzeption aufgelockerten und vorbereiteten Boden, wie auch Hörz' spätere Schrift[13] zeigt. Es war ein Ansatz, der nicht „die" Denkfreiheit, aber wichtige Denkfreiheiten eröffnete, deren Resultate bis heute Bestand haben.

6. Das Buch ist durchzogen von wissenschafts- und philosophiehistorischen Betrachtungen, die mit logisch-methodologischen Überlegungen eng verwoben sind. Wissenschaftsgeschichte, Philosophiegeschichte und Logik hatten in der DDR berühmte und international zurecht hoch angesehene Vertreter. Aber die Einheit von Logischem und Historischem, die im vorliegenden Buch, insbesondere auch durch die ausgefeilten Überlegungen der Logikerin Evelyn Dölling zu Symbolisierung, Formalisierung, Wissenschaftssprachen und Logik mit hergestellt wird, die aber auch in jedem einzelnen fachbezogenen Kapitel aufscheint, ist in dieser Qualität etwas kaum wieder Erreichtes. Zugleich wird in den methodologischen Kapiteln zu Widerspiegelung, Wahrheit, den typischen Methoden der Einzelwissenschaften (Beobachtung, Messung, Experiment, Modellbildung, Theorienbildung, Mathematisierung) so viel detailliertes Material geboten, dass sie auch heute noch lesenswert erscheinen.
7. Einen wichtigen Zugang hat Ulrich Röseberg mit seinem Versuch zur kulturtheoretischen Präzisierung des Natur- und Erkenntnisbegriffs gebahnt. Ausgehend von einem Verständnis von Kultur als Aneignung und Vergegenständlichung menschlicher Wesenskräfte in allen Akten der Produktion und Reproduktion, eingeschlossen alle aktiven schöpferischen Tätigkeiten (und weit über eine De-

12 Hörz, H. (1991): Gesetz. In: Hörz, H., Liebscher, R., Löther, R., Schmutzer, E., Wollgast, S.: Philosophie und Naturwissenschaft. Wörterbuch zu den philosophischen Fragen der Naturwissenschaften. Berlin, S. 342-347.
13 Hörz, H. (1993): Selbstorganisation sozialer Systeme. Münster, Hamburg: LIT-Verlag.

finition von Wissenschaft als allgemeine Arbeit hinausgehend) griff Röseberg auf die drei bei Marx formulierten drei Kulturstufen zurück: (a) Persönliche Abhängigkeitsverhältnisse – (b) Persönliche Unabhängigkeit, auf sachliche Abhängigkeit gegründet – (c) Freie Individualität, gegründet auf die universelle Entwicklung der Individuen und die Unterordnung ihrer gemeinschaftlichen, gesellschaftlichen Produktivität als ihres gesellschaftlichen Vermögens. Wissenschaftsentwicklung wird als Moment welthistorischer Kulturentwicklung beschrieben, Wissenschaft, mit Hörz, als Prozess differenzierter Zusammenhänge und Vermittlungen darin gefasst. Es war Ulrich Röseberg nicht mehr vergönnt, den Zusammenhängen von Kulturstufen, Wissenschaftstypen und Naturerkenntnis weiter nachzuspüren, doch gehört das entsprechend bezeichnete Kapitel ganz sicher zu einem der spannendsten und auch heute noch zukunftsträchtigen Gedankengänge in diesem Buch.

8. Es wäre vermessen, die Vielzahl kluger Gedanken und Schlussfolgerungen, die sich aus Analysen der Dialektik der physikalischen, chemischen, biologischen, kosmologischen und anthropologischen Erkenntnis ergaben, in einem kurzen Vorwort resümieren zu wollen. Beispielhaft sind heute, nach über zwanzig Jahren, nicht nur einzelne herausragende Einsichten, beispielhaft ist vielmehr die Ernsthaftigkeit und Tiefe, mit der wissenschaftliche und philosophische Erkenntnisse, ob sie aus West oder Ost, Nord oder Süd stammten, aufgenommen und einbezogen wurden. Anders als heute wurden osteuropäische und sowjetische Naturwissenschaftler und Philosophen in breitem Maße berücksichtigt. Natürlich legt das Buch, kaum bemerkenswert, ostdeutschem Zeitgeist folgend marxistisch-leninistische Grundprinzipien dem Forschen zugrunde; bemerkenswert ist vielmehr, welche Erweiterungen und Revisionen der Grundprinzipien zum Publikationszeitpunkt möglich waren und wie frei sich die Autoren oberhalb dieser Grundprinzipien in ihren philosophischen Reservaten tummelten.

9. Auf zwei resultierende Gedankengänge in diesem Werk möchte ich abschließend hinweisen. Da sind zum einen die so genannten Prinzipien der Naturerkenntnis. Ausgehend von einer eigenen Reflexion des Seins als Gesamtheit alles materiell und ideell Existierenden und der Überzeugung, dass die wirkliche Einheit der Welt in ihrer Materialität bestehe, bewiesen durch eine lange und langwierige Entwicklung der Philosophie und der Naturwissenschaft“[14], waren wir der Überzeugung: Will man philosophisch-wissenschaftlich sinnvoll über die Totalität des Seienden sprechen, muss man Unterschiede in diesem Seienden feststellen und das heißt auf zumindest zwei Teiltotalitäten bezeichnende Kategorien übergehen, die das Seiende gleichsam „zerlegen“ und sich dennoch reflexiv aufeinander beziehen. Das bewahrheitete sich damals sowohl in modernen einzelwissenschaftlich,

14 F. Engels (1983): Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft („Anti-Dühring“). In: MEW, Bd. 20, Berlin. S. 40/41.

gestützten Untersuchungen zur Materiestruktur[15] sowie durch logische Analysen des Existenzprädikats[16], die nachweisen, dass eine Subsumtion aller Arten von Existenzweisen – realer Existenz, idealer Existenz, logischer Existenz, mathematischer Existenz, mythologischer Existenz, literarischer Existenz, religiöser Existenz usw. – unter „das" Sein sinnlos ist, das man vielmehr zumindest von zwei grundlegenden Arten – realer und nichtrealer Existenz – ausgehen muss.

Je nach ontologisch-erkenntnistheoretischer Zielsetzung sind nun verschiedene „Zerlegungen" der Totalität des Seienden, des Seins möglich. Sie schließen einander nicht aus, sondern hängen selbst eng miteinander zusammen. Ergebnis solcher „Zerlegungen" sind reflexiv zueinander definierte Kategorien. Dabei wollen wir unter Reflexivdefinitionen definitionsartige Begriffserklärungen verstehen, die folgende Eigenschaften haben:

(I) In ihnen werden Kategorien, die Teiltotalitäten einer Gesamttotalität bezeichnen, wechselseitig, „reflexiv" durcheinander erklärt (etwa: Materie durch Bewusstsein, Bewusstsein durch Materie);

(II) sie sind keine echten Definitionen im Sinne einer logischen Definitionstheorie oder auch anderer spezifizierter Definitionsarten[17];

(III) dies sind sie schon deshalb nicht, weil die Extensionen und Intensionen der entsprechenden Kategorien, da auf Totalitäten bezogen, unbestimmt sind;

(IV) dennoch sind sie unumgängliche Voraussetzungen philosophischen Denkens, welches bis zu den letzten denkmöglichen Kategorien vorstößt und vorstoßen muss;

(V) zugleich markieren diese Kategorien einen Prinzipienrahmen, in dem sich wissenschaftliches, insbesondere naturwissenschaftliches Denken bewegen muss.

Diese prozessierend verknüpften „Zerlegungen" – z. B. in Materie versus Bewusstsein, Subjekt versus Objekt, Widerspiegelungsgegenstand versus Widerspiegelungsresultat („Abbild"), Abstraktes versus Konkretes, Logisches versus Historisches usw. werden dann systematisch abgeklopft und münden in Grundprinzipien einer Theorie der materialistischen Dialektik, wie

- dem Prinzip der Unerschöpflichkeit der Materie,
- dem Prinzip der Strukturiertheit der Materie,
- dem Prinzip der dialektischen Determiniertheit,
- dem Prinzip der Entwicklung u. a.

15 Vgl. H. Hörz (1971): Materiestruktur. Berlin. S. 81 ff.
16 Ausführlich dazu: E. Dölling (1986): Logik und Sprache. Untersuchungen zum Gebrauch des Existenzprädikats, Berlin. Insbesondere S. 107 ff.
17 Vgl. J. Erpenbeck (1983): Stichwort „Definition", in: Hörz, H., Liebscher, H., Löther, R., Wollgast, S.: Wörterbuch Philosophie und Naturwissenschaften, Berlin. S. 157.

10. Abschließend sei auf eine Überlegung eingegangen, die in zahlreichen Diskussionen verifiziert und weiterentwickelt wurde. Es geht um die sprachliche Fassung dialektischer Widersprüche, im weiteren Sinne um Beziehungen von Dialektik und Logik. Wir gingen mit Horst Wessel und Alexander Sinowjew davon aus, dass die Logik – als allgemeinste Theorie des Umgangs mit Termini, Aussagen und Operatoren[18] – benannte Invarianten des Erkennens und deren gegenseitige Beziehungen voraussetzt. Die Idee, Kognitionen generalisiert als Invarianten kognitiver Transformationen aufzufassen, stammte dabei aus der deutschlandweit verbreiteten „Schule" von Friedhardt Klix[19]. Logik hinterfragt ausdrücklich nicht die Entstehung und kognitive Verarbeitung dieser Invarianten. Dialektik beschäftigt sich hingegen mit dem Prozess der Variantenbildung, einem im Prinzip unerschöpflichen Prozess des Findens von Invarianten, deren Relativierung und dem anschließenden Finden von neuen Invarianten. Dabei bezeichnen die Invarianten jene Eigenschaften von Objekten, die für bestimmte Klassen von Transformationen unveränderlich bleiben. Da nur über eine invariantentheoretische Modellierung des Erkenntnisprozesses der Zugang zu den wie immer gedeuteten Invarianten in der objektiven Realität möglich ist, zeigt sich im Rahmen solcher Überlegungen zugleich auch ein Weg, wie man von der Dialektik des Erkenntnisprozesses über die subjektive Dialektik zur Dialektik auf der Ebene der Erkenntnisobjekte, also einer objektiven Dialektik kommt, ohne einer Ontologisierung aufzusitzen. Über die Invarianten in der objektiven Realität und deren Relativität kann nämlich nur unter Angabe invariantentheoretisch festzulegender Erkenntnismodelle gesprochen werden. Es gibt demnach keine von der Erkenntnistheorie isolierte Ontologie, so wie es umgekehrt keine von der Ontologie isolierte Erkenntnistheorie gibt.

    Wir können vielmehr die Logik als allgemeinste Theorie des Umgangs mit (durch Termini, Aussagen und Operatoren benannten) Invarianten des Erkennens charakterisieren. Die Dialektik ist entsprechend als allgemeinste Theorie des Umgangs mit Varianten des Erkennens (der Benennung, Auflösung und Umformung der Invarianten) zu fassen. Dieser strukturell-funktionelle Zugang konnte in den beinahe marxfreien neunziger Jahren weiterwirken und einige Einsichten einer Dialektik der Natur, wie sie im vorliegenden Band verstanden und durchforscht wird, weitertragen.

18 Sinowjew, A.A. (1970): Komplexe Logik. Grundlagen einer logischen Theorie des Wissens. (Hg.: H. Wessel), Berlin.
19 Klix, F. (1971): Information und Verhalten. Berlin.

Vorwort

Wiederholt ist die Forderung erhoben worden, auf dem gegenwärtig erreichten Niveau der Zusammenarbeit von marxistisch-leninistischen Philosophen und Naturwissenschaftlern die „Dialektik der Natur des 20. Jahrhunderts" zu schreiben. Um diese Forderung in wissenschaftlich akzeptabler Weise einzulösen, bedarf es mit Sicherheit kollektiver Anstrengungen, die das Leistungsvermögen einzelner Forschergruppen bzw. einzelner Forscher bei weitem übersteigen. Wir gehen davon aus, daß die Zeit reif ist, über die allgemeine Forderung hinausweisende, konkrete und konstruktive Schritte in Richtung auf diese höchst anspruchsvolle Zielstellung zu unternehmen.

„Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis" ist der Versuch, ein der weiteren nationalen und internationalen Forschungskooperation offen stehendes Forschungsprogramm zu umreißen, zu begründen und auf seine Tragfähigkeit praktisch zu überprüfen. Wir verstehen die Ausführungen dieses Buches als kritisierbaren Vorschlag, Engels' „Dialektik der Natur" für unsere Zeit fortzuschreiben. – Mit dem Zusatz „und (Dialektik) der Naturerkenntnis" im Titel signalisieren wir einerseits, frei von der anmaßenden Vorstellung zu sein, einfach *die* „Dialektik der Natur des 20. Jahrhunderts" jetzt oder in absehbarer Zeit vorlegen zu können. Andererseits ist mit dem Zusatz mehr beabsichtigt als lediglich Absicherung gegenüber möglichen Missverständnissen.

„Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis" bezeichnet ein philosophisches Programm, das die dialektische Einheit von Ontologie und Gnoseologie zum Ausgangsprinzip erhebt. Vor dem Hintergrund der naturwissenschaftlichen Erkenntnisfortschritte des 20. Jahrhunderts und aus der Perspektive eines größeren zeitlichen Abstands zu Hegel, als ihn Engels haben konnte, wird inzwischen immer deutlicher: Naturdialektik ist nicht allein als Naturontologie zu denken. Kants *Fragen* hinsichtlich des menschlichen Erkenntnisvermögens (nicht seine Antworten) bleiben trotz des berechtigten Hegelschen Einwands, mit dem Erkennen einfach anzufangen, weiterhin aktuell. Wer es heute unternimmt, an der „Dialektik der Natur" weiter zu arbeiten, muß der Hegelschen Identitätsphilosophie mit größerer Distanz begegnen, als dies Engels noch an manchen Stellen seiner naturphilosophischen Überlegungen für notwendig erachtet hat. Davon völlig unbenommen bleibt das von Engels zu Recht gewürdigte heuristische Potential der Hegelschen Dialektik.

Die Anordnung des Materials unseres Buches erfolgt im wesentlichen in Übereinstimmung mit dem auch der systematischen Anordnung der Manuskripte zur „Dialektik der Natur" innerhalb MEGA zugrunde liegenden Engelsschen „Plan 1878". Wir verzichten auf eine historische Einleitung; wegen des systematischen Anliegens der Untersuchung beginnen wir vielmehr sofort mit der Darstellung der entsprechenden theoretischen und methodischen Voraussetzungen. Dem sind die Kapitel I und II gewidmet. Dabei geht es um das im weiteren unterstellte Verständnis von „Dialektik als Wissenschaft". Kapitel I umreißt den Forschungsstand hierzu und expliziert das anschließend vorauszusetzende Dialektikkonzept. Kapitel II soll auf

der Grundlage der versuchten begrifflichen Fixierung von „Dialektik“ die Begriffe „Natur“ und „Erkenntnis“ bestimmen. Dass es sich dabei jeweils nur um vorläufige Begriffsklärungen handeln kann, ergibt sich aus dem Anliegen des mit „Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis“ bezeichneten Werks. In den Kapiteln III, IV und V wird im Sinne der Engelsschen „Aperçus über die einzelnen Wissenschaften und deren dialektischen Inhalt“ exemplarisch auf die Dialektik der physikalischen, chemischen und biologischen Erkenntnis eingegangen. Damit setzen wir fort, was wir 1981 mit der Publikation „Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis“ begonnen haben. Inzwischen sind diese Untersuchungen an vielen Stellen philosophisch vertieft und durch die Analyse weiteren Materials ergänzt worden.[1] Die dabei erzielten Erkenntnisfortschritte werden summarisch in die Ausführungen der entsprechenden Kapitel eingebracht.

Mit dem abschließenden Kapitel VI stoßen wir am weitesten in Neuland vor. Hier wird versucht, den bereits von Engels hervorgehobenen „Zusammenhang der

1 Siehe dazu: K. Buttker, Widersprüche der Entwicklung – Entwicklung der Widersprüche, Berlin 1988; J. Erpenbeck, Psychologie und Erkenntnistheorie. Zu philosophischen Problemen psychischer Erkenntnisprozesse, Berlin 1980; J. Erpenbeck, Das Ganze denken, Berlin 1986; J. Erpenbeck, Determinanten der Wissenschaftsentwicklung (DWE), in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie (im folgenden: DZfPh), 1/1986, S. 22-31; *F. Gehlhar, Wie der Mensch seinen Kosmos schuf. Eine kleine Kulturgeschichte der Astronomie, Berlin 1996*; N. Hager, Modelle in der Physik, Berlin 1982; *N. Hager, Modelle in der naturwissenschaftlichen Erkenntnis, Berlin 1984 (Manuskriptdruck)*; H. Hörz/M. R. Omel'janowskij (Hrsg.), Experiment – Modell – Theorie, Berlin und Moskau 1982; H. Hörz/K.-F. Wessel, Philosophische Entwicklungstheorie. Weltanschauliche, erkenntnistheoretische und methodologische Probleme der Naturwissenschaften Berlin 1983; H. Hörz/H. Liebscher/R. Löther/S. Wollgast (Hrsg.), Philosophie und Naturwissenschaften, Wörterbuch zu den philosophischen Fragen der Naturwissenschaften, Berlin 1983; H. Hörz/K.-F. Wessel (Hrsg.), Struktur – Bewegung – Entwicklung, Berlin 1985; H. Hörz/K.-F. Wessel (Leiter des Autorenkollektivs); Philosophie und Naturwissenschaften Berlin 1986; H. Hörz, Was kann Philosophie? Berlin 1986; H. Hörz, Wissenschaft als Prozeß. Grundlagen einer dialektischen Theorie der Wissenschaftsentwicklung Berlin 1988; *H. Hörz, Philosophie der Zeit. Zeitverständnis in Geschichte und Gegenwart, Berlin 1989*; R. Löther, Das Werden des Lebendigen, Leipzig – Jena – Berlin 1983; R. Löther, Mit der Natur in die Zukunft, Berlin 1985; Löther, Rolf (Hg.) (1988): Tiersozietäten und Menschengesellschaften. Philosophische und evolutionsbiologische Aspekte der Soziogenese. Gustav Fischer Verlag Jena; S. Paul/G. Ruzavin, Mathematik und mathematische Modellierung. Philosophische und methodologische Probleme, Berlin 1986; U. Röseberg, Philosophie und Physik. Atomismus in drei. Jahrtausenden Leipzig 1982; U. Röseberg, Szenarium einer Revolution. Nichtrelativistische Quantenmechanik und philosophische Widerspruchsproblematik, Berlin 1984; U. Röseberg, Niels Bohr. Leben und Werk eines Atomphysikers, Berlin und Stuttgart 1985; U. Röseberg/R. Löther, Dialektischer Widerspruch und Natur, in: G. Bartsch (Hrsg.), Der dialektische Widerspruch, Berlin 1986; S. 100-155; R. Simon, Chemie – Dialektik – Theorienentwicklung, Berlin 1980; R. Simon/U. Niedersen/G. Kertscher, Philosophische Probleme der Chemie, Berlin 1982.

Wissenschaften“ über den inzwischen naturwissenschaftlich detailliert ausgearbeiteten Entwicklungsgedanken herzustellen. Die Dialektik der Natur findet ihren tiefsten Ausdruck im gegenwärtig naturwissenschaftlich recht gut fundierten Bild eines einheitlichen Entwicklungskosmos, in dem auch die Entstehung des Lebens auf der Erde, die biotische Evolution und die Menschwerdung ihren Platz haben. Philosophisch-weltanschauliche Orientierungen vermögen die entsprechenden naturwissenschaftlichen Forschungen heuristisch anzuregen.

„Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis“ stellt in der gegenwärtigen Fassung – das geht bereits aus dieser knappen Übersicht hervor – auch den Forschungsstand *einer* Gruppe dar, nämlich des Bereichs Philosophische Fragen der Wissenschaftsentwicklung im Zentralinstitut für Philosophie der AdW der DDR. Wir verstehen es in Übereinstimmung mit der vorausgesetzten Dialektikkonzeption als Prozeß *und* Resultat. Weil in der Wissenschaft ebenso wie in allen anderen Bereichen der Widerspruch die durch nichts zu ersetzende Quelle und Triebkraft jeglicher Entwicklung ist, kann unserem Buch nichts besseres widerfahren, als zum Gegenstand eines intensiven wissenschaftlichen Meinungsstreits zu werden.

Wir danken allen, die uns durch helfende Kritik und Hinweise zum Text ermutigt haben, das Projekt zu diesem vorläufigen Resultat zu führen.

Herbert Hörz Ulrich Röseberg

Kapitel I: Materialistische Dialektik und Naturwissenschaften

1. Problemlage und Forschungsstand

Als Friedrich Engels sich mit dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisstand seiner Zeit und der Geschichte der Naturwissenschaften beschäftigte, war die Dialektik bereits zum theoretischen und methodischen Instrumentarium wissenschaftlichen Verständnisses des Geschichtsprozesses geworden. Die als „Vor-Kapitel" konzipierten Überlegungen zur „Dialektik der Natur" sollten nicht zuletzt klären, ob und wie auf dialektisch-materialistischer Grundlage eine einheitliche, mit dem Erkenntnisstand aller Wissenschaften übereinstimmende, Natur, Gesellschaft und Denken umfassende, wissenschaftliche Weltanschauung formulierbar sei. Dabei war der für die materialistische Theorie des Geschichtsprozesses und die Darwinsche Evolutionstheorie zentrale Entwicklungsgedanke konstitutiv.

Seit der Erstveröffentlichung der Engelsschen Texte zur „Dialektik der Natur" im Jahre 1925 werden umfangreiche Diskussionen zum Stellenwert des damit umrissenen Forschungsprogramms innerhalb der marxistisch-leninistischen Philosophie und zur Bedeutung dieses philosophischen Programms für die Naturwissenschaften geführt. Dazu gibt es einen bis heute andauernden Meinungsstreit unter marxistisch-leninistischen Philosophen, divergierende Positionen von Naturwissenschaftlern und mehr oder minder kritische Stellungnahmen von nichtmarxistischen Philosophen, die aus nahezu allen philosophischen Lagern des 20. Jahrhunderts kommen.

Innerhalb der marxistisch-leninistischen Philosophie hat sich die Bearbeitung philosophischer Fragen der Naturwissenschaften zu einem anerkannten Forschungsgebiet entwickelt.[1] Obgleich dabei nach wie vor konzeptionelle Unterschiede existieren, gehen zunächst einmal alle Spezialisten dieses Forschungsgebiets davon aus, Dialektik als allgemeinste philosophische Theorie des Zusammenhangs, der Bewegung und Entwicklung in Natur, Gesellschaft und im Denken zu verstehen. Folglich sind die entsprechenden wissenschaftlichen Bemühungen faktisch in ihrer Gesamtheit auf die Fortführung des Engelsschen Programms zur „Dialektik der Natur" gerichtet. Meinungsverschiedenheiten betreffen dann also lediglich die Fragen nach dem *Wie*, nicht aber nach der generellen Berechtigung eines solchen Programms.

Wir gehen in Übereinstimmung mit vielen Naturwissenschaftlern davon aus, dass eine von der übrigen Wissenschaftsentwicklung isolierte spekulative Naturphilosophie angesichts der tatsächlich vorhandenen Möglichkeiten zur Zusammenarbeit von Philosophen und Naturwissenschaftlern heute überholt ist. Von den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen gelangt man zu philosophischen Grundprinzipien,

1 Siehe dazu: Zur Geschichte der marxistisch-leninistischen Philosophie in der DDR. Von 1945 bis Anfang der sechziger Jahre, Berlin 1979, S. 363 ff.; Filosofskie voprosy estestvoznanija. Obzor sovetskich učënych, I-II, Moskva 1976.

präzisierten philosophischen Aussagen und philosophischen Hypothesen über *philosophische Verallgemeinerungsprozesse*.[2] Dabei werden Erkenntnisresultate und -prozesse analysiert, ob und – wenn ja – welche Beiträge sie zur theoretisch vertieften Beantwortung der Fragen nach dem Ursprung der Welt, der Quelle des Wissens, der Stellung des Menschen in der Welt, dem Charakter des gesellschaftlichen Fortschritts und dem Sinn des Lebens erbringen. Insofern ist also alles, was über Dialektik der Natur ausgesagt werden kann, *Resultat* von philosophischen Verallgemeinerungsprozessen. Damit werden die entsprechenden philosophischen Aussagen auch für den Naturwissenschaftler überprüfbar, vorausgesetzt, er akzeptiert das dazu innerhalb der Philosophie entwickelte methodische Handwerkszeug und vermag sich seiner zu bedienen. Der Philosoph, der sich mit der Naturdialektik beschäftigt, verbleibt selbstverständlich auch dabei in der Denktradition seiner eigenen Wissenschaft, zugleich muss er sich – getreu den Engelsschen Intentionen – den Naturwissenschaften zuwenden. Das mit „Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis" charakterisierte Forschungsprogramm erheischt also dringend eine sich wechselseitig befruchtende Zusammenarbeit marxistisch-leninistischer Philosophen und Naturwissenschaftler.[3] Zu den wesentlichen Voraussetzungen des Erfolgs dieser Zusammenarbeit gehört, dass beide Seiten ihre jeweilige Spezifik in die gemeinsamen Bemühungen einbringen.

Den bei der Realisierung dieses Forschungsprogramms erzielten Erkenntnissen kommt in zweifacher Hinsicht Bedeutung zu. Zum einen bieten sie die Gewähr, jene Philosophie, die als theoretische Grundlage weltanschaulicher Handlungsorientierung dient, beständig in Übereinstimmung mit dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt zu halten. Das ist unabdingbar, damit diese Philosophie ihren Anspruch auf Wissenschaftlichkeit auch weiterhin verdient. Zum anderen – und das stellt nur die Ergänzung des genannten Gedanken dar – kommt den bei der Realisierung des Forschungsprogramms erzielten Erkenntnissen auch in der weiteren naturwissenschaftlichen Forschung heuristische Bedeutung zu.

In beiden Richtungen hat es in der Vergangenheit Anlässe zu Missverständnissen gegeben. Natürlich sind nicht alle philosophischen Erkenntnisse innerhalb der Naturdialektik von gleicher weltanschaulicher Brisanz. Es wäre aber völlig falsch, deshalb lediglich jenen Fragen Aufmerksamkeit zukommen zu lassen, die *im Augenblick* weltanschaulich umkämpft sind. Weltanschaulich offensiv kann nur sein, wer sich intensiv mit all jenen Fragen beschäftigt, die zu weltanschaulichen Auseinandersetzungen führen *können*.

2 Siehe dazu: H. Hörz, Marxistische Philosophie und Naturwissenschaften, Berlin 1974, S. 92 ff.
3 Siehe dazu: M. Buhr/H. Hörz (Hrsg.); Naturdialektik – Naturwissenschaft. Das Erbe der Engelsschen „Dialektik der Natur" und seine aktuelle Bedeutung für die Wissenschaftsentwicklung, Berlin 1986; Dialektika v naukach o prirode i čeloveka. Trudy III Vsesojuznogo sovčešanija po filosofskim voprosam sovremennogo estestvoznanija, Moskva 1983; Die Dialektik und die Wissenschaften (Dialektik 12), Köln 1986.

Neben Diskussionen um den Stellenwert der Forschungen zur Dialektik der Natur im Rahmen des marxistisch-leninistischen philosophischen Gesamtkonzepts hat es auch unter Naturwissenschaftlern, die dem Konzept der Naturdialektik zuneigten, recht unterschiedliche Auffassungen über dessen Bedeutung für die eigene Forschungsarbeit gegeben. Wenn philosophische Aussagen mit naturwissenschaftlichen verwechselt oder sogar wegen der weltanschaulich orientierenden Funktion der Philosophie normativ gegen naturwissenschaftliche Positionen gewendet werden, dann sind die mit dem praktischen Scheitern solcher Ansprüche verbundenen Enttäuschungen vorprogrammiert. Als Gegenreaktion kommt es daraufhin leicht zu der positivistischen Forderung, innerhalb der Naturwissenschaften gänzlich auf Philosophie zu verzichten. Beide Extreme sind für Philosophie und Naturwissenschaften gleichermaßen schädlich. Es geht um ein philosophisches Konzept, in dem einerseits die Aussagen über Natur nicht zu unverbindlichen Worthülsen entarten und andererseits die berechtigten Versuche, dialektische Erkenntnisse möglichst auch zu operationalisieren, nicht bis zur Erstarrung der Dialektik in tote Schemata führen.

Die Bewältigung dieser Aufgabenstellung hat vor dem Hintergrund bisheriger Erfahrungen zu erfolgen. Dabei können wir uns zunächst und vor allem auf die von Engels mit der „Dialektik der Natur" vollbrachten theoretischen Leistungen stützen.

Darin wird *erstens* der Nachweis geführt, dass in der Naturwissenschaft „durch ihre eigene Entwicklung die metaphysische Auffassung unmöglich geworden" ist.[4] Dialektik ist für die damalige Naturwissenschaft als wichtigste (philosophische) Denkform charakterisiert, „weil sie allein das Analogon und damit die Erklärungsmethode bietet für die in der Natur vorkommenden Entwicklungsprozesse, für die Zusammenhänge im Ganzen und Großen, für die Übergänge von einem Untersuchungsgebiet zum andern".[5] Für unsere Untersuchung stellt sich die Frage, ob dies so auch für die gegenwärtige Naturwissenschaft gilt.

Zweitens bemerkt Engels, dass die notwendig gewordene Rückkehr zur Dialektik sich bei den Naturwissenschaftlern unbewusst vollzieht und daher widerspruchsvoll und langsam vor sich geht. Diesen Prozess beschleunigen zu helfen, war ein Anliegen der „Dialektik der Natur". – Heute existieren zahlreiche Belege für den Zwang zur Dialektik in der Naturwissenschaft. Es bleibt sicher richtig, dass die Rückkehr zur Dialektik sehr abgekürzt werden kann, „wenn die theoretischen Naturforscher sich mit der dialektischen Philosophie in ihren geschichtlich vorliegenden Gestalten näher beschäftigen wollen".[6] Der Meinungsstreit wird gegenwärtig darüber geführt, wie die Philosophen diese Beschäftigung mit der Dialektik als Wissenschaft und ihrer Geschichte am besten unterstützen können.

4 F. Engels, Dialektik der Natur (1873-1882), in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26, Berlin 1985, S. 293.
5 Ebenda, S. 330.
6 Ebenda, S. 331.

Engels fasst seine Position zur „Dialektik als Wissenschaft des Gesamt-Zusammenhangs“[7] wie folgt zusammen: „Hauptgesetze: Umschlag von Quantität und Qualität – Gegenseitiges Durchdringen der polaren Gegensätze und Ineinander-Umschlagen, wenn auf die Spitze getrieben – Entwicklung durch den Widerspruch oder Negation der Negation – Spirale Form der Entwicklung.“[8]

Drittens – und dies war der Ausgangspunkt für die Engelsschen Überlegungen zur „Dialektik der Natur“ – sind in der allgemein als Veränderung gefassten Bewegung der Materie verschiedene Bewegungsformen zu unterscheiden, mit denen sich die einzelnen Wissenschaftsdisziplinen beschäftigen. Die Klassifizierung der Wissenschaften wird damit zum philosophisch-weltanschaulichen Problem. Es handelt sich um „Wissenschaften, von denen jede eine einzelne Bewegungsform oder eine Reihe zusammengehöriger und in einander übergehender Bewegungsformen analysiert“.[9] Klassifikation bedeutet daher „Anordnung nach ihrer inhärenten Reihenfolge, dieser Bewegungsformen selbst“.[10] Heute ist zu überprüfen, inwiefern die Engelsschen Bestimmungen der einzelnen Bewegungsformen weiterhin sinnvoll bleiben. Vor allem aber ist der Frage nach dem inneren Zusammenhang der Bewegungsformen nachzugehen.

Viertens finden sich in der „Dialektik der Natur“ Anmerkungen zum dialektischen Inhalt der Mathematik, Astronomie, Physik, Chemie und Biologie. Daran muss angeknüpft werden, wenn die Frage nach der Relevanz der Dialektik exemplarisch für Physik, Chemie und Biologie behandelt wird.

Fünftens – und dies ist zweifelsohne der Kern des Engelsschen Konzepts – wird die dialektische Naturanschauung, der zufolge „die gesammte Natur, vom Kleinsten bis zum Größten, von den Sandkörnern bis zu den Sonnen, von den Protisten bis zum Menschen, in ewigem Entstehen und Vergehen, in unaufhörlichem Fluß, in rastloser Bewegung und Veränderung ihr Dasein hat“[11], als die durch die zukünftige Wissenschaftsentwicklung im Detail weiter auszuarbeitende angesehen. Ausgehend von einer präzisierten philosophischen Entwicklungstheorie gilt es zu klären, ob die Naturwissenschaften den von Engels prognostiziertem Weg zu einem einheitlichen evolutionären Weltbild wirklich eingeschlagen und beibehalten haben. Das führt zwangsläufig zu der Frage nach der Präzision des gegenwärtig erreichten Gesamtbildes und der damit zusammenhängenden, weiter zu untersuchenden naturwissenschaftlichen philosophischen Problemstellungen.

Wir wollen uns auf ein präzisiertes Dialektikkonzept stützen, das, ausgehend von den Positionen der Klassiker der marxistisch-leninistischen Philosophie, die eigenen

7 Ebenda, S. 293.
8 Ebenda.
9 Ebenda, S. 390.
10 Ebenda.
11 Ebenda, S. 309.

Erfahrungen bei der bisherigen Bearbeitung philosophischer Fragen der Wissenschaftsentwicklung berücksichtigt. Begründungsdiskussionen und Überlegungen zur Problematisierung dessen, was hier nahezu axiomatisch behauptend eingeführt werden soll, sind den Arbeiten zu entnehmen, auf die wir diese zusammenfassende Darstellung stützen.[12]

2. Materialistische Dialektik als Theorie, Methode und Methodologie

Die *materialistische Dialektik* als Wissenschaft von den allgemeinen Beziehungen und Gesetzen der Struktur, Veränderung und Entwicklung in Natur, Gesellschaft und Bewusstsein deckt die objektiven Formen des Zusammenhanges der Objekte und Prozesse auf, analysiert ihre Bedingtheit (Kausalität) und Bestimmtheit (Gesetz) mit anderen Objekten und Prozessen und begreift sie in ihrer Veränderung und Entwicklung.

Der Kern der materialistischen Dialektik ist die Erforschung objektiver *dialektischer Widersprüche* als Quelle der Entwicklung. Die *dialektisch-materialistische Entwicklungskonzeption* umfasst Entwicklung als die Tendenz zum Entstehen höherer Qualitäten, die sich durch Stagnationen, Regressionen und Herausbildung aller Elemente einer Entwicklungsphase in Entwicklungszyklen durchsetzt.

Aus der Tatsache, dass sich alles entwickelt, dass die Einheit der Welt in der Materialität eine Einheit sich entwickelnder Objekte ist, wird verschiedentlich *Dialektik mit Entwicklung* identifiziert. Dabei aber wird die Spezifik der Dialektik von *Struktur* und *Veränderung* unterschätzt. Wenn schon Dialektik auf einen Punkt zu bringen ist, dann sollte man sich dabei der Leninschen Bestimmung bedienen. Danach ist Dialektik „die Lehre, wie die *Gegensätze identisch* sein können und es sind (wie sie es werden)".[13] Sie wird kurz als die „Lehre von der Einheit der Gegensätze" bestimmt, wobei zugleich gefordert wird, diesen „Kern der Dialektik" zu erläutern und weiterzuentwickeln.[14] Für Lenin ist „die Dialektik die Erforschung des Widerspruchs *im Wesen der Dinge selbst*"[15] und insofern natürlich auf „die richtige Widerspiegelung der ewigen

12 Siehe dazu: J. Erpenbeck, Das Ganze denken. Zur Dialektik menschlicher Bewußtseinsstrukturen und -prozesse, Berlin 1986; H. Hörz, Marxistische Philosophie und Naturwissenschaften, a. a. O.; H. Hörz, Zufall – Eine philosophische Untersuchung, Berlin 1980 [Siehe auch: http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/philosophie.html]; H. Hörz/K.-F. Wessel, Philosophische Entwicklungstheorie, Berlin 1983; H. Hörz/K.-F. Wessel (Leiter des Autorenkollektivs), Philosophie und Naturwissenschaften, Berlin 1985; U. Röseberg/K.-F. Wessel/S. Wollgast, Materialistische Dialektik – Positionen und Probleme, in: Struktur – Bewegung – Entwicklung, Berlin 1985, S. 9-41.

13 W. I. Lenin, Philosophische Hefte, in: Werke, Bd. 38, Berlin 1968, S. 99.

14 Ebenda, S. 214. Siehe dazu auch: G. Bartsch (Hrsg.), Der dialektische Widerspruch, Berlin 1986.

15 W. I. Lenin, Philosophische Hefte, a. a. O., S. 240.

Entwicklung der Welt".[16] Unter einer *Theorie* ist die Synthese erkannter wesentlicher Beziehungen und Gesetze zu einem in Aussagenform fixierten Gesetzessystem mit seinem entsprechenden Bedingungskomplex für einen fixierten Gegenstandsbereich zu verstehen. Eine *Methode* ist eine Gesamtheit von Verfahrensregeln für die auf Gegenstände eines bestimmten Bereichs gerichtete theoretische und praktische Tätigkeit. Systematische Reflexionen über die Beziehungen innerhalb eines Methodengefüges sind als *Methodologie* bestimmt.

Ausgehend von diesen begrifflichen Festlegungen ist die materialistische Dialektik philosophische Theorie, Methode und Methodologie, wobei jeder dieser Aspekte der Erläuterung und der weiteren Ausarbeitung bedarf.

Als *philosophische Theorie* ist die materialistische Dialektik Resultat philosophischer Verallgemeinerungen der Wissenschaftsentwicklung und der praktischen Erfahrungen gesellschaftlicher Entwicklung. Dabei sind im *Gegenstandsbereich* der Theorie der materialistischen Dialektik drei Ebenen zu unterscheiden. Es handelt sich um die *objektive Dialektik* (also die Dialektik der Natur, der Gesellschaft und materiellen Grundlagen des Bewusstseins), die *subjektive Dialektik* (in Gestalt von Erkenntnisresultaten) als Widerspiegelung objektiver Dialektik und die *Dialektik des Erkenntnisprozesses* (also die Spezifik jener Dialektik, die beim Prozess der Widerspiegelung objektiver Dialektik in der subjektiven Dialektik auftritt). Die Theorie der materialistischen Dialektik selbst ist als philosophische Theorie Bestandteil der subjektiven Dialektik, die Erkenntnisresultate verschiedener semantischer Stufen enthält, darunter auch Aussagen über sie selbst.

Eines der für die Darstellung dieser Theorie bedeutsamsten methodischen Probleme ist die Frage nach der *sprachlichen Fassung dialektischer Widersprüche*. Wir wollen davon ausgehen, dass sich die Philosophie ebenso wie die anderen Wissenschaften einer Sprache bedient, in der *logische* Widersprüche ausgeschlossen bleiben. Aber selbst unter dieser Voraussetzung gibt es noch unterschiedliche Auffassungen zur sprachlichen Fixierung dialektischer Widersprüche, die anhand der philosophischen Diskussionen des naturwissenschaftlichen Materials noch deutlich werden.

Hier ist jetzt lediglich allgemein festzustellen, dass der dialektische Materialismus am Hegelschen Gedanken festhält, dialektische Widersprüche auch *dialektisch* widersprüchlich zu formulieren. Marx konstatierte, „daß das Paradoxon der Wirklichkeit sich auch in Sprachparadoxen ausdrückt".[17] Dies bedeutet aber nicht, Aussagen zu akzeptieren, in denen eine These und deren Antithese zugleich und in derselben Beziehung Gültigkeit beanspruchen. Immer dort, wo in der Wissenschaft eine solche Situation auftritt, bedarf es weiterer Überlegungen, in die natürlich der jeweilige naturwissenschaftliche, philosophische und gegebenenfalls auch mathematische Erkenntnisstand einfließen. Formulierungen, die zunächst die *Struktur* eines *logischen* Widerspruchs haben, können auf dialektische Widersprüche hinweisen. Dann aber

16 Ebenda, S. 100.
17 K. Marx, Theorien über den Mehrwert, Dritter Teil, in: MEW, Bd. 26.3, Berlin 1968, S. 134.

zeigt sich, dass sie nicht „zugleich und in derselben Beziehung“ gelten, also in Wirklichkeit gar keine logischen Widersprüche sind. Dies aber lässt sich konkret oft erst im Resultat aufwendiger Untersuchungen feststellen. Dialektische Widersprüche sind inhaltlich immer als objektive Einheit wechselwirkender Gegensätze bestimmt.

Wir folgen in der Darstellung der *Theorie* der materialistischen Dialektik jenem Ansatz, der von vier *Grundprinzipien* (Unerschöpflichkeit, Strukturiertheit und Determiniertheit der Materie, Entwicklungsprinzip) ausgeht, die über philosophische Verallgemeinerungen der Wissenschaftsentwicklung weiter präzisiert werden. *Materialistische Dialektik* aber ist mehr als nur eine philosophische Theorie; sie ist *auch Methode und Methodologie*.[18]

Im Zusammenhang mit unserem spezifischen Anliegen ist es legitim, den Methodenaspekt auf Erkenntnismethoden einzuschränken. Generell aber ist hervorzuheben, dass die materialistische Dialektik als *Methode* alle auf Veränderung von Objekten gerichteten Tätigkeiten von Subjekten zu erfassen vermag. Der methodische Aspekt der materialistischen Dialektik fordert die Untersuchung und Berücksichtigung der objektiven Beziehungen in den untersuchten Systemen, ihrer Hierarchie und ihrer Wechselbeziehungen mit anderen Faktoren, der Veränderung und Entwicklung der Systeme. Er ist gegen die verschiedensten Erscheinungsformen der Metaphysik gerichtet, die wesentliche Zusammenhänge nicht berücksichtigt oder die Quelle der Entwicklung vernachlässigt. Die Prinzipien, Gesetze und Kategorien der Theorie der materialistischen Dialektik haben im wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt methodische Bedeutung. Dazu müssen sie entsprechend aufbereitet werden. Zugleich ist die philosophische Analyse der Erkenntnismethoden und ihrer historischen Entwicklung für die Vertiefung der materialistischen Dialektik als Methode von Bedeutung. Dieser Aspekt soll in Kapitel II in einigen für alle Naturwissenschaften bedeutsamen Punkten näher betrachtet und bei der Analyse des Materials der Physik, Chemie und Biologie in den nachfolgenden Kapiteln dann für die jeweiligen Wissenschaften weiter präzisiert werden. Die Dialektik des Erkenntnisprozesses ist im Rahmen der vorliegenden Arbeit von fundamentaler Bedeutung.

Materialistische Dialektik als *Methodologie* zu verstehen, verlangt die dialektische Analyse des Systems der einzelwissenschaftlichen Methoden, um den Zusammenhang, die Veränderung und Entwicklung der verschiedenen Methoden zu erkennen. Hierzu werden die methodischen Forderungen der materialistischen Dialektik zur theoretischen Erforschung des Systems der Methoden genutzt, was wiederum selbst von methodischer Bedeutung sein kann. Methodologie als eine theoretisch relativ geschlossene Methodenlehre oder eine Metatheorie der Methoden zu entwickeln, ist eine Aufgabe, die über das Projekt „Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis“ hinausweist und daher hier nicht weiter verfolgt werden kann.

18 Siehe dazu auch: W. Segeth, Materialistische Dialektik als Methode und Methodologie Berlin 1984.

In unserem Zusammenhang ist zu beachten, dass die materialistische Dialektik selbst eine sich verändernde und entwickelnde Methode ist. Sie kann in ihrer methodologischen Bedeutung keine der im Methodengefüge enthaltenen oder neu entstandenen Methoden ersetzen, sondern zeigt lediglich deren Bedeutung und relative Grenzen, untersucht ihren inneren Zusammenhang, ihre Veränderung und Entwicklung und erweist sich somit als Grundlage wissenschaftlicher Methodenkritik. Erst die Nutzung aller wissenschaftlichen Methoden zur Gewinnung neuer Erkenntnisse lässt die Bedeutung der Dialektik als Theorie des Zusammenhangs der erreichten Erkenntnisse, ihrer Veränderung und Entwicklung als Theorie des Methodensystems und als wissenschaftlich-philosophische Grundlage der Methodenkritik hervortreten. Elementare methodische Fehler naturwissenschaftlicher Forschungsarbeit können durch Dialektik nicht kompensiert werden.

3. Drei Ebenen der Dialektik

Bei der Behandlung der Theorie der materialistischen Dialektik ist bereits betont worden, dass mit der *objektiven Dialektik,* der *subjektiven Dialektik* und der *Dialektik des Erkenntnisprozesses* unbedingt drei Ebenen der Dialektik zu unterscheiden sind. Darauf ist im Prinzip auch von Engels schon hingewiesen worden. Lenin hat aufgefordert, den Zusammenhang von objektiver Dialektik, subjektiver Dialektik und Dialektik des Erkenntnisprozesses zu beachten. Von ihm stammt die philosophische Einsicht, dass im dialektischen Materialismus *Ontologie* und *Gnoseologie* zu einer dialektischen Einheit verschmelzen.

Diese These ist in den Untersuchungen zur „Dialektik der Natur" sehr ernst zu nehmen. Sie besagt, dass sich Naturdialektik nicht einfach als Naturontologie auffassen lässt. Engels' Konzept von der Dialektik der Natur mit der fundamentalen Behauptung, dass auch Natur philosophisch durch die Existenz objektiver dialektischer Widersprüche charakterisiert sei, kann seine heuristische Fruchtbarkeit nicht durch die spekulative Vorwegnahme naturwissenschaftlich zu erforschender Gesetzeszusammenhänge erweisen, sondern nur dadurch, dass es Naturwissenschaftler darauf vorbereitet, beim Eindringen in Struktur-, Bewegungs- und Entwicklungsgesetze der Natur auf dialektisch widersprüchliche Beziehungen zu stoßen, in den *Resultaten* des Erkenntnisprozesses die Dialektik dieses *Prozesses* in spezifischer Weise gebrochen wiederzufinden und ständig gezwungen zu werden, von einmal gesicherten Erkenntnissen ausgehend, zu neuen, vollkommeneren Erkenntnissen überzugehen.

Die gegenwärtigen philosophischen Diskussionen um die „Dialektik der Natur" sind nicht zuletzt dadurch geprägt, dass es ein unterschiedliches methodisches Bewusstsein in Hinblick auf die Unterscheidung und mithin die Analyse des Zusammenhangs der drei Ebenen der Dialektik gibt. Dabei ist noch nicht völlig klar, ob das philosophische Methodenbewusstsein mit dem für die jeweilige Naturwissenschaft charakteristischen Methodenbewusstsein korrelieren muss oder aber mangelndes

philosophisches Methodenbewusstsein in diesem Punkt als eine der unreflektierten Spätfolgen der Hegelschen Thesen von der Identität des Denkens und des Seins zu diagnostizieren ist. Engels' Kantkritik und ein Teil seiner Auslassungen über den dialektischen Inhalt einzelner Wissenschaften scheinen jedenfalls bis heute jene Theoretiker zu bestärken, die die Aufgabe des Philosophen gegenüber den Naturwissenschaftlern auf Interpretation gewonnener Resultate reduzieren wollen. Dies genügt angesichts der hier unterstellten philosophischen Konzeption jedoch keineswegs.

Die Aufgabe des Philosophen kann sich nicht darauf beschränken, mit anderen Worten noch einmal zu wiederholen, was der Naturwissenschaftler ohnehin schon weiß. Es gehört zwar zu den notwendigen Voraussetzungen wissenschaftlichen Philosophierens im Bereich der Naturwissenschaften, dass der Philosoph sich der dort erreichten Position versichert. Sollte er allerdings dabei stehenbleiben, dann muss er dem Naturwissenschaftler schon die Frage gestatten, ob so verstandene Philosophie im Sinne eines effektiv funktionierenden Wissenschaftsbetriebs nicht eigentlich einzusparen wäre. Anerkennt man hingegen, dass dem Philosophen spezifische Aufgaben der Analyse der konkreten Zusammenhänge der Dialektik des Erkenntnisprozesses, der subjektiven und der objektiven Dialektik erwachsen, dann folgt daraus noch keineswegs Klarheit über die dabei anzuwendenden Methoden. Wir werden bei der Analyse des naturwissenschaftlichen Materials in diesem Punkt wiederholt auf unterschiedliche Herangehensweisen stoßen. Zukünftig kommt es darauf an, über Methodenkritik und Vergleich der einzelnen Methoden philosophische Erkenntnisfortschritte anzustreben. Hier soll jetzt lediglich noch auf einen sehr allgemeinen Aspekt des Problems verwiesen werden.

Das bereits genannte Problem der sprachlichen Fassung dialektischer Widersprüche hängt mit einem prinzipielleren und ebenso wenig abschließend geklärten Problem zusammen. Es handelt sich um die Beziehungen von Dialektik und Logik. Wir gehen davon aus, dass die *Logik* als allgemeinste Theorie des Umgangs mit Termini, Aussagen und Operatoren benannte Invarianten und deren gegenseitige Beziehungen voraussetzt und nicht weiter hinterfragt, während sich die *Dialektik* mit dem Prozess der Invariantenbildung beschäftigt, einem im Prinzip unerschöpflichen Prozess des Findens von Invarianten, deren Relativierung und dem anschließenden Finden von neuen Invarianten. Dabei bezeichnen die Invarianten jene Eigenschaften von Objekten, die für bestimmte Klassen von Transformationen unveränderlich bleiben. Da über invariantentheoretische Modellierung des Erkenntnisprozesses der Zugang zu den Invarianten in der objektiven Realität möglich ist, zeigt sich im Rahmen solcher Überlegungen zugleich auch ein Weg, wie man von der Dialektik des Erkenntnisprozesses über die subjektive Dialektik zur Dialektik auf der Ebene der Erkenntnisobjekte, also der objektiven Dialektik kommt. Über die Invarianten in der objektiven Realität und deren Relativität allerdings kann nur unter Angabe der invariantentheoretisch festgelegten Erkenntnismodelle gesprochen werden; Subjekt und Objekt des Erkenntnisprozesses lassen sich also auch auf diesem Wege nicht metaphysisch auseinanderreißen. Wir kommen wiederum zu dem Schluss:

Es gibt keine von der Erkenntnistheorie isolierte Ontologie, so wie es umgekehrt keine von der Ontologie isolierte Erkenntnistheorie gibt.

Bei dieser Betrachtung ist zu beachten, dass dabei theoretisch bereits die dialektisch widersprüchliche Einheit von Veränderlichem und Invariantem vorausgesetzt wurde. Indem Invarianten Unveränderliche in bezug auf *bestimmte* Transformationen sind, können sie zugleich Veränderliche in bezug auf andere Transformationen sein. Es gibt keine Veränderlichen oder Unveränderlichen an sich. Alles ist bezogen auf einen Maßstab der Veränderlichkeit. Ein solcher Maßstab der Veränderlichkeit existiert sowohl auf der Ebene der Objekte des Erkenntnisprozesses (z. B. in charakteristischen Zeiten, Längen oder anderen Größen) als auch auf der Ebene des Erkenntnisprozesses selbst (durch die jeweils invariantentheoretisch bestimmbaren Erkenntnismodelle).

4. Grundprinzipien der Theorie der materialistischen Dialektik

Angesichts der fundamentalen Rolle, die die Grundprinzipien der materialistischen Dialektik für den theoretischen Aufbau dieser philosophischen Disziplin spielen, sollen sie hier noch einmal explizit dargestellt und kurz erläutert werden. Diese Darstellung darf nicht verwechselt werden mit der Theorie der materialistischen Dialektik, zu deren Weitereitwicklung und Präzisierung das gesamte vorliegende Buch Beiträge zu erbringen sucht.

4.1 Prinzip der Unerschöpflichkeit der Materie

Die objektive Realität ist in ihren Objekten, Prozessen und Beziehungen unerschöpflich. Materielle Objekte, Prozesse und Beziehungen unterliegen einem ewigen quantitativen und qualitativen Formenwandel. Bewegung ist die Daseinsweise der Materie; diese ist von ihrer Bewegung in Raum und Zeit, den Existenzformen der Materie, nicht zu trennen. Aus der Unerschöpflichkeit der Materie folgt die Existenz *objektiver Zufälle*. Das sind objektive Beziehungen zwischen verschiedenen Ereignissen, die ihren Grund nicht in den wesentlichen inneren Bedingungen der Ereignisse haben.

Das Prinzip der Unerschöpflichkeit der Materie bringt den erkenntniskritischen Charakter materialistischer Dialektik mit der Forderung zum Ausdruck, keine endgültigen Wahrheiten über die *Materiestruktur*, d. h. die Gesamtheit der Struktur-, Bewegungs- und Entwicklungsformen von Materiearten anzuerkennen.

In der Gesellschaftsentwicklung, deren Gesetze als Invarianten im Handeln von Menschen schwer zu erkennen sind, wurden Theorien mit Gesellschaftserklärungen und Prognosen oft durch die Praxis korrigiert. Man fasste die ständige Veränderung in Kreislauf- oder Untergangstheorien. Darin drückte sich auch das erkenntniskritische Prinzip aus, denn der objektive Formwandel, in der Gesellschaft offensichtlich, zwang zur Revision von Theorien. – Der Gedanke von der unerschöpflichen Veränderung im Mikro- und Makrokosmos drängte sich vielen Philosophen auf. In der antiken Dia-

lektik fand er seinen Ausdruck in der Feststellung, dass alles fließt, weshalb Heraklit meinte, man könne nicht zweimal in denselben Fluss steigen. Dagegen standen die Auffassungen der Pythagoreer, die die Veränderung leugneten.

Das Prinzip der Unerschöpflichkeit musste zu Auseinandersetzungen führen, weil es die dialektische Einheit von objektiver Unerschöpflichkeit und endlicher Erkenntnis als Gegensätze umfasst. So wurde mit der Klassifizierung der Naturerscheinungen zunächst eine unveränderliche Natur postuliert. Der Zwang zur Dialektik hob diese einseitige Auffassung dann wieder auf. Schon die mittelalterliche Theologie hatte in Gott zwar ein unabänderliches Schöpfungsprinzip, das jedoch durch Kontingenz mit der veränderlichen Welt verbunden war.

Das Prinzip der Unerschöpflichkeit der Materie hebt die mit dem ewigen qualitativen Formwandel verbundene Vielfalt der Materiearten und -formen hervor und verweist auf die Strukturauflösung in Verbindung mit der Strukturneubildung. Jede Erkenntnis erfasst so die Dialektik von Unendlichkeit im Sinne von allgemeinen Gesetzen und Endlichkeit im Sinne der Überprüfbarkeit der Gesetzeserkenntnis an endlich vielen Objekten. Das Prinzip der Unerschöpflichkeit wird durch das Prinzip der Strukturiertheit der Materie ergänzt.

4.2 Prinzip der Strukturiertheit der Materie

Die unerschöpfliche Welt ist kein absolut ungeordnetes Chaos, was Erkenntnis unmöglich machen würde. Die Welt ist in ihrer Einheit erkennbar. So gibt es nicht wenige Versuche in der Geschichte des Denkens, einheitliche Welttheorien aufzubauen. Dabei kam es zu Einseitigkeiten. Es wurde versucht, die Welt als Entäußerung einer absoluten Idee, als vom Ich geschaffenes Nicht-Ich, als schicksalhafte Entfaltung des Präformierten oder als Gesamtheit elementarer Bausteine mit eindeutiger Vorausbestimmtheit aller Zustände zu erfassen. Auch einige naturwissenschaftliche Theorienbildungen trachteten danach, den philosophischen Gedanken von der materiellen Einheit der Welt in Einheitstheorien fruchtbar zu machen. Wird dabei die qualitative Vielfalt der Formen auf eine einzige reduziert, wobei Symmetriebrüche und Qualitätsumschläge und damit das Entstehen neuer und die Entwicklung höherer Qualitäten vernachlässigt werden, wie im mechanischen Determinismus, oder werden die Materiearten, wie im metaphysischen Atomismus, auf qualitativ gleichartige, letzte, unteilbare Teilchen zurückgeführt, dann entstanden und entstehen theoretische Schwierigkeiten. Die Variabilität der Struktur, die Varianzbreite der Materiearten, auch die Entstehung von Neuem, wird nicht erklärt. Das Prinzip der Unerschöpflichkeit basiert auf der Bewegung als Daseinsweise der Materie und hebt so die Veränderung hervor. Das Prinzip der Strukturiertheit dagegen charakterisiert das Stabile im Wandel. Dieses Bleibende im Wechsel ist für das Gesamtgeschehen die Materialität.

Die Einheit der Welt besteht in ihrer Materialität, d. h. in wechselwirkenden Systemen. Die objektive Realität übt direkte oder indirekte Wirkungen auf unsere

Sinnesorgane aus, die experimentell analysiert und theoretisch synthetisiert werden. Diese materiellen Wirkungen haben in Abhängigkeit vom Charakter der Systeme ihre Spezifik. So verweisen die Physik auf die verschiedenen Wechselwirkungsarten, die Chemie auf die Reaktionsmechanismen und die Biowissenschaften auf die steuernde Rolle der Information. Selbst ideelle Wirkungen basieren auf materiellen Substraten und üben ihre Steuerungs- und Regelungsfunktion über die bedeutungstragenden materiellen Prozesse aus. Diese Spezifik ist nicht leicht zu erkennen. Manchmal wird die Bemerkung von Engels zu dieser Problematik vergessen, der auf die Grenzen unserer Strukturerkenntnis verweist, wenn er feststellt: „Das Sein ist ja überhaupt eine offene Frage von der Grenze an, wo unser Gesichtskreis aufhört."[19] Die Erkenntnis von der Welt in der Materialität ist ein historisches und systematisches Forschungsprogramm zum Nachweis dieser Einheit durch die „lange und langwierige Entwicklung der Philosophie und der Naturwissenschaft"[20] und die Entwicklung allgemeiner Theorien, die genetische und strukturelle Zusammenhänge zwischen vorher getrennten Gebieten aufdecken.

Struktur ist die Gesamtheit der allgemeinen und besonderen, wesentlichen und unwesentlichen, notwendigen und zufälligen Beziehungen der Elemente eines Systems in einem bestimmten Zeitintervall, das durch die Grundqualität des Systems bestimmt ist. Struktur ist sowohl geronnene Entwicklung als auch prozessierende Struktur. Das Entwicklungsprinzip verlangt, die historische Formierung der Struktur zu untersuchen und die Tendenzen ihrer grundlegenden Veränderung zu beachten. Die materialistische Dialektik wendet sich gegen eine statische Strukturauffassung, hebt aber die Bedeutung von Strukturuntersuchungen hervor. Das gilt auch für die Struktur von Theorien. Das Prinzip der Strukturiertheit der Materie besagt: *Es existieren relativ geschlossene Systeme der objektiven Realität, die koexistieren und wechselwirken, niedriger und höher entwickelt und durch Systemgesetze in ihren wesentlichen Verhaltensweisen bestimmt sind.*

Philosophische Aussagen zur *Struktur der Materie* sind nur über Verallgemeinerungen entsprechender einzelwissenschaftlicher Strukturuntersuchungen, ihrer Erkenntnisresultate, der dabei genutzten Erkenntnismethoden und der sich aus der Geschichte dieser Analysen ergebenden Tendenzen möglich. Sie sind mithin also an das in den einzelnen Wissenschaften zu einem bestimmten Zeitpunkt akkumulierte Wissen und die methodischen Fähigkeiten zur philosophischen Verallgemeinerung der entsprechenden Erkenntnisprozesse und -resultate gebunden.

4.3 Prinzip der dialektischen Determiniertheit

Dialektischer Determinismus ist die Anerkennung der Bedingtheit (Kausalität) und Bestimmtheit (Gesetz) der Objekte und Prozesse im Zusammenhang mit anderen

19 F. Engels, Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft, („Anti-Dühring"), in: MEW, Bd. 20, S. 41.
20 Ebenda.

Objekten und Prozessen. Er wendet sich gegen die mechanisch-deterministische Auffassung von der Ablaufkausalität, nach der objektives Geschehen aus eindeutigen Abhängigkeiten zukünftiger Zustände von gegenwärtigen bestehen soll, was Vorausbestimmtheit und Voraussagbarkeit impliziert. Damit wäre die bei Aristoteles vorhandene Ursachenvielfalt der *causa materialis,* der *causa formalis,* der *causa finalis* und der *causa efficiens* lediglich auf einen, nämlich den letztgenannten Aspekt eingeschränkt. Vor allem leugnet der mechanische Determinismus die objektive Existenz des Zufalls und der Freiheit. Der dialektische Determinismus hebt das einseitige Verständnis einer Kausalbeziehung allein als notwendiges Hervorbringen einer bestimmten Wirkung durch eine bestimmte Ursache auf.

Kausalbeziehungen sind direkte und konkrete Vermittlungen des objektiven Zusammenhangs, wobei durch Einwirkungen auf ein System (Ursachen) Zustandsänderungen des Systems (Wirkungen) entstehen. Das allgemeine Kausalprinzip als Bestandteil des dialektischen Determinismus fordert, dass alle Wirkungen verursacht sind, aber nicht, dass eine bestimmte Ursache notwendig eine bestimmte Wirkung hervorbringt. Das ist nur in Grenzfällen möglich. Da wir es stets mit Wechselwirkungen, d. h. einem Komplex von Kausalbeziehungen zu tun haben, sind Notwendigkeit oder Zufall einer Kausalrelation erst durch ihren Platz im Komplex der Beziehungen bestimmt. Kausalanalyse ist deshalb nicht einfach das Aufdecken einer Ursache, die notwendig eine Wirkung hervorbringt, sondern die auf der Bedingungsanalyse beruhende Untersuchung der „Anfangsursachen" für die „Endwirkung" über die aus den Bedingungen für das untersuchte Ereignis sich ergebende Möglichkeiten und ihre notwendige oder zufällige Realisierung.

Verallgemeinert kann man festhalten, dass Komplexe von Kausalbeziehungen, alle wissenschaftlich zu analysierenden Objekte und Ereignisse sind, die danach untersucht werden, ob a) wesentliche Ursachen („Anfangsursachen"), vermittelt durch einen Bedingungskomplex, der ein Möglichkeitsfeld enthält, zu wesentlichen Wirkungen („Endwirkungen") als bedingt zufälliger Verwirklichung von Möglichkeiten führen, oder b) gesetzmäßige Zusammenhänge existieren, die für alle Ereignisse gleichen Typs der Grund sind, nach dem sich eine Möglichkeit notwendig oder in einer stochastischen Verteilung bedingt zufällig verwirklicht.

Kausalität betrifft das konkrete Ereignis, Gesetz den Ereignistyp. Das führt auch zur Präzisierung des Verständnisses der Notwendigkeit. Unter *Notwendigkeit* wird oft die Gesamtheit der Bedingungen verstanden, die ein Ereignis eintreten lassen. Gehen wir von der Unerschöpflichkeit der Materie aus, dann sind diese Bedingungen nicht voll zu erfassen. Es existieren Zufälle, d. h. zusammentreffende Ereignisreihen, die sich nicht gegenseitig begründen. Wird Notwendigkeit deshalb definiert als „auf Grund der Gesamtheit der Bedingungen bestimmt", dann ist das entweder Ausdruck des mechanischen Determinismus, wenn die erschöpfende Erkenntnis dieser Bedingungen prinzipiell behauptet wird, oder ein Programm zur Differenzierung dieser Bedingungen in notwendige und zufällige, wesentliche und unwesentliche. Dabei ergeben sich zwei

Arten der Notwendigkeit, nämlich die *einfache direkte Notwendigkeit,* bei der eine bestimmte Ursache eindeutig eine bestimmte Wirkung hervorbringt, und die *allgemeine Notwendigkeit,* d. h. die Reproduzierbarkeit wesentlicher Seiten eines Ereignisses in einem bestimmten Bedingungskomplex. Die erste Form der Notwendigkeit ist der Grenzfall einer Kausalbeziehung zwischen Anfangsursache und eindeutig bestimmter Endwirkung, die zweite Form führt zur Erkenntnis der objektiven Gesetze in Theorien, denn das *Gesetz* ist ein allgemein-notwendiger, d. h. reproduzierbarer und wesentlicher, d. h. den Charakter der Erscheinung bestimmender Zusammenhang.

Der dialektische Determinismus unterscheidet zwischen Kausalität und Gesetz. Kausalanalyse verlangt die Erkenntnis der Bedingtheit von Erscheinungen durch Differenzierung des Bedingungskomplexes und Einsicht in die Anfangsursachen von Endwirkungen. Sie führt zur Formulierung wissenschaftlicher Gesetze als Ausdruck der Bestimmtheit von Erscheinungen in ihren allgemein-notwendigen Seiten. Das Gesetz (Gesetzessystem) besitzt eine innere Struktur, die notwendig und bedingt zufällig sich verwirklichende Möglichkeiten umfasst.

Das Prinzip der dialektischen Determiniertheit besagt in seiner auf der Grundlage gegenwärtiger systemtheoretischen Erkenntnisse vieler Wissenschaften präzisierten Form: *Jede Strukturveränderung ist durch die inneren dialektischen Widersprüche in ihrer Entfaltung, Zuspitzung und Lösung und durch die auf das System wirkende Umgebung kausal bedingt und gesetzmäßig bestimmt, wobei wesentliche und unwesentliche Zufälle bei der Verwirklichung von Möglichkeiten aus dem der Struktur entsprechenden Möglichkeitsfeld auftreten.*

4.4 Prinzip der Entwicklung

Das Prinzip der Entwicklung trat in der Geschichte des Denkens in verschiedenen Formen auf. Sie reichen von der Anerkennung von Veränderungen, von qualitativen Umwandlungen bis zur Berücksichtigung von Tendenzen der Höherentwicklung. Wichtig war stets die Antwort auf die Frage nach den Quellen der Entwicklung. Es existieren die intuitiven Einsichten der griechischen Philosophen. Kreislauftheorien wurden aufgestellt. Erkenntnisse des 18. und 19. Jahrhunderts förderten das Entwicklungsdenken. Die Idee Kants von der Evolution des Kosmos und der Darwinismus haben wesentlich die Diskussion zur Entwicklung der Natur beeinflusst. Gesellschaftliche Entwicklung wurde philosophisch reflektiert. Die Notwendigkeit eines einheitlichen Entwicklungskonzepts entstand. Der Darwinismus wurde auch zur Erklärung gesellschaftlicher Veränderungen herangezogen. Marx schrieb am 16.1.1861 in einem Brief: „Sehr bedeutend ist Darwins Schrift und paßt mir als naturwissenschaftliche Unterlage des geschichtlichen Klassenkampfes. Die grob englische Manier der Entwicklung muß man natürlich mit in den Kauf nehmen.“[21]

21 K. Marx, Brief an Ferdinand Lassalle vom 16.1.1861, in: MEW, Bd. 30, S. 578.

Es ist sicher interessant, dass Johann Georg Walchs philosophisches Lexikon, das 1775 in vierter Auflage erschien, den Begriff der Entwicklung (Evolution) nicht enthält.[22] Zu Beginn unseres Jahrhunderts stellt dafür F. Mauthner fest: „Wer sein Ohr für die wissenschaftlichen Schlagworte geschärft hat wie für die Worte der Gemeinsprache, der hört den Kampf zwischen Zweck und Zufall auch aus dem allerklärenden Begriff des Darwinismus heraus: aus dem Worte Entwicklung ... das dann seit noch nicht fünfzig Jahren eine unübersehbare Literatur zur Entwicklung oder Entfaltung gebracht hat."[23] Heute hat sich die philosophische Diskussion um die Entwicklungstheorie durch neue Erkenntnisse über die Evolution des Kosmos, über die Theorie dissipativer Strukturen, über die Anthropogenese, über die Geoevolution, über die Gesellschafts- und Persönlichkeitsentwicklung erweitert. Es wird die Aufgabe gelöst, die Lenin stellte: „Die Fortführung des Werks von Hegel und Marx muß in der *dialektischen* Bearbeitung der Geschichte des menschlichen Denkens, der Wissenschaft und der Technik bestehen."[24]

Dabei hat sich der Entwicklungsgedanke selbst entwickelt. Die materialistische Dialektik setzt sich mit Kreislauftheorien, die die Entstehung des Neuen leugnen, ebenso auseinander wie mit der Identifizierung von Entwicklung mit quantitativem oder kumulativem Wachstum ohne Berücksichtigung der Qualitätsänderungen. Das dialektisch-materialistische Entwicklungsprinzip umfasst mehr als nur qualitative Veränderungen, d. h. die Existenz anderer Qualitäten der gleichen Grundqualität und das Entstehen neuer Grundqualitäten. *Entwicklung* ist der genetische Zusammenhang zwischen Ausgangs- und höherer Endqualität in einem Entwicklungszyklus, wobei sich die Tendenz zur Höherentwicklung durch Regressionen, Stagnationen und durch die Ausbildung der Elemente einer Entwicklungsphase durchsetzt. *Prozessdenken* wird erst dann zum *Entwicklungsdenken*, wenn in Entwicklungszyklen die höheren Qualitäten mit Hilfe von Entwicklungskriterien bestimmt, die objektiven dialektischen Widersprüche in ihrer Entfaltung, Lösung und Neusetzung als Quelle der Entwicklung analysiert und die Richtung der Entwicklung in dialektischen Negationen der Negationen als Einheit von scheinbarer Rückkehr zum Alten und quantitativ umfangreicherer und qualitativ besserer Erfüllung der Funktionen der Ausgangs- durch die Endqualität erkannt werden. Die philosophischen Diskussionen um das Verhältnis von *Gesetz* und *Widerspruch* zeigen immer deutlicher, dass durch das tiefere Eindringen in die Gesetzesstruktur Gesetze sich als Tendenzen zur Lösung objektiver dialektischer Widersprüche erweisen. Das Möglichkeitsfeld im Gesetz enthält einander widersprechende Entwicklungstendenzen, wobei sich die Grundtendenz durchsetzt.

Lenin sprach davon, dass das *Prinzip der Einheit der Welt* mit dem *Entwicklungsprinzip* verbunden werden muss.[25] Es geht um die Erklärung, wie höhere Qualitäten

22 Vgl. J.-G. Walch, Philosophisches Lexikon, Leipzig 1775.
23 F. Mauthner, Wörterbuch der Philosophie, München – Leipzig 1914, Band 1, S. 283.
24 W. I. Lenin, Philosophische Hefte, in: Werke, Bd. 38; Berlin 1964, S. 137.
25 Vgl. ebenda, S. 24.

aus niederen entstehen (Genesezusammenhänge) und welche Wechselwirkungen sich zwischen ihnen in bestimmten Phasen herausbilden (Strukturzusammenhänge). Diese Verbindung des Prinzips der Determiniertheit und der Entwicklung erfolgt in der materialistischen Dialektik vor allem durch Arbeiten zur *statistischen Gesetzeskonzeption* und zur *Struktur von Entwicklungsgesetzen.*

Die Durchsetzung *dialektischen* Denkens ist in der Wissenschaftsentwicklung heute eng mit der statistischen Denkweise verbunden. Es geht um die Kritik eines Geschichts- oder Entwicklungsautomatismus, der notwendig aus Niederem Höheres hervorbringt. Die philosophische Analyse wissenschaftlicher Erkenntnisse in der Quantentheorie, der Biologie, der mathematischen Statistik und anderer Wissenschaften führt zu einer statistischen Gesetzeskonzeption, die die Existenz von notwendigen Entwicklungstendenzen ebenso berücksichtigt, wie die bedingt zufällige Verwirklichung von Möglichkeiten mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten. Damit wird an die Gedanken von Marx über das Tendenzgesetz angeknüpft, wenn er über die zufällige Abweichung der Preise vom Wert spricht, das Gesetz als Einheit widersprechender Seiten fasst und die Zufälle als Erscheinungsformen des Gesetzes begreift.[26]

Das *statistische Gesetz* (oder Gesetzessystem) ist ein allgemein notwendiger und wesentlicher Zusammenhang zwischen den Elementen eines Systems, der eine Möglichkeit für das Systemverhalten bestimmt, die notwendig verwirklicht wird (*dynamischer Aspekt*), wobei die Elemente aus einem Möglichkeitsfeld bedingt zufällig Möglichkeiten entsprechend der Wahrscheinlichkeitsverteilung verwirklichen (*stochastischer Aspekt*) und der Übergang eines Elements von einem Zustand in den anderen mit einer bestimmten Übergangswahrscheinlichkeit erfolgt (*probabilistischer Aspekt*). *Wahrscheinlichkeit* wird hier als Maß für die Verwirklichung der Möglichkeit genommen. Das *Möglichkeitsfeld* erfasst koexistierende entgegengesetzte Tendenzen, die mögliche Lösungen dialektischer Widersprüche charakterisieren. Die grundlegende Lösungstendenz ist der dynamische Aspekt des Gesetzes.

Diskussionen zur Terminologie zwingen zur Bemerkung, dass der seit Planck in vielen Arbeiten übliche Sprachgebrauch, zwischen dynamischen und statistischen Gesetzen zu unterscheiden, genutzt wird, um die innere Dialektik der objektiven Gesetzesstruktur zu zeigen. Es geht nicht mehr um Dynamik und Statistik im Sinne der Physik, sondern um philosophische Bestimmungen und um die Kritik einseitiger Auffassungen zur Gesetzesstruktur. Das *dynamische Gesetz* erfasst die notwendige Verwirklichung einer Möglichkeit. Das *statistische Gesetz* ist eine Einheit von notwendigem System- und zufälligem Elementarverhalten. Beide existieren nicht getrennt, denn das statistische Gesetz umfasst das dynamische. Auch sind statistische Gesetze nicht mit stochastischen Verteilungen zu identifizieren. Die Diskussion der philosophischen Konzeption statistischer Gesetze ist wesentlicher Bestandteil der

26 Vgl. K. Marx, Das Kapital. Dritter Band, in: MEW, Bd. 25, Berlin 1964, S. 171, 251, 836.

Dialektikforschung, weil erst mit der Aufdeckung der inneren Struktur der Gesetze und Gesetzessysteme theoretisch plausibel gegen Vereinfachungen bis hin zu Vorstellungen eines Geschichtsautomatismus polemisiert werden kann.

Diese innere Struktur von Gesetzen und Gesetzessystemen, die Grenzfälle wie das dynamische Gesetz und die stochastische Verteilung ebenso umfasst, wie quantitativ und qualitativ bestimmte sowie potentielle statistische Gesetze, erlaubt es, bei Änderungen stochastischer Verteilungen von Modifizierungen erster Art des Gesetzes und bei Änderungen des Möglichkeitsfelds, aber Beibehaltung des dynamischen Aspekts, von Modifizierungen zweiter Art des Gesetzes zu sprechen. Damit wird der Gedanke von der *Historizität der Gesetze* nicht nur dadurch fassbar, dass unter neuen Bedingungen neue Gesetze existieren, sondern auch durch Änderungen der Gesetzesstruktur. Das ist weniger ein Problem für die Natur-, wohl aber für die Gesellschaftswissenschaften, die es mit sich relativ schnell ändernden Bedingungen zu tun haben. Es ändern sich dann nicht die Gesetze in ihrem Wesen, wohl aber die Wirkungsmechanismen der Gesetze. Die *Gesetzeserkenntnis* sollte deshalb einerseits auf die Hervorhebung des Wesens der Gesetze in ihrer Reinheit orientiert werden, wobei Tendenzen nicht schon Gesetze sind. Andererseits ist die innere Struktur, d. h. das Möglichkeitsfeld und die stochastische Verteilung der bedingt zufälligen Verwirklichung von Gesetzen genauer zu bestimmen. In diesem Sinne sind viele Gesetze mehr allgemeine Formulierungen als Ergebnisse theoretischer Verallgemeinerungen empirischer Erfahrungen.

Besondere Schwierigkeiten entstehen bei der Formulierung von *Entwicklungsgesetzen*, denn sie umfassen wesentliche Verhaltensweisen von Systemen in Entwicklungszyklen von der Ausgangsqualität über *neue* Qualitäten bis zur *höheren* Endqualität. Das führt zu einer komplizierten Gesetzesstruktur, in der Qualitätsänderungen in zeitlicher Abhängigkeit als dialektische Negation der Negation erfasst werden. Entwicklungsgesetze umfassen dabei Struktur- und Bewertungsgesetze.

Wenn wir berücksichtigen, dass im Möglichkeitsfeld des Gesetzes mit geringer Wahrscheinlichkeit zur Verwirklichung auch die dem dynamischen Aspekt entgegengesetzte Tendenz enthalten ist, dann erst machen wir Ernst mit der Behauptung, dass die Tendenz zur Höherentwicklung gesetzmäßig mit Tendenzen der Stagnation und Regression verbunden ist. Das hat viele weltanschauliche Konsequenzen. Gilt das auch für die *Gesellschafts- und Persönlichkeitsentwicklung*, dann sind Einschätzungen nicht nur als Beschreibung des status quo zu geben, sondern ist der Platz einer Entwicklungsphase im Entwicklungszyklus mit Vorgeschichte und Entwicklungstendenz zu bestimmen. Für die Einschätzung der Persönlichkeitsentwicklung gilt es zu beachten, dass nicht Stagnations- oder gar Regressionsphasen zur Beschreibung der Leistungsmöglichkeiten genommen werden. Leichter ist es sicher, eine Beschreibung des Zustandes A und später des Zustandes B zu geben, als aus der Analyse von A Prognosen über die Transformation in B zu wagen. Hier muss mit Möglichkeiten und Wahrscheinlichkeiten gearbeitet werden, denn eine absolut sichere Voraussage von

Ereignissen und damit risikofreie Planung gibt es nicht. Die Einsicht in die Dialektik des Lebens, vermittelt durch praktische Erfahrungen, beweist es.

Die Theorie bestimmt das *Risiko* von seiner objektiven Grundlage her als Differenz zwischen der Wahrscheinlichkeit einer im Gesetz enthaltenen Möglichkeit, die sich bedingt zufällig verwirklicht, und der Gewissheit. Hinzu kommt die Einschätzung der Existenz und Wirkungsbedingungen des Gesetzes, die differenziert nach existierenden und zu schaffenden Bedingungen untersucht werden. Fehleinschätzungen des Risikos beeinflussen stark weltanschauliche Haltungen. Die Überschätzung fördernder und die Unterschätzung hemmender Bedingungen ergibt ein kleineres Risiko, weckt dafür illusionären Optimismus, der beim Zusammenbruch der Illusionen in Pessimismus umschlägt. Die Unterschätzung fördernder Bedingungen und möglicher Reserven führt zu scheinbar größerem Risiko und oft zum Pessimismus.[27]

Das Entwicklungsprinzip lautet: *Strukturveränderungen als Qualitätsumschläge enthalten im Möglichkeitsfeld die Tendenz zur Höherentwicklung, die sich durch Stagnation und Regression und die Ausbildung aller Elemente einer Entwicklungsphase durchsetzt. Objektive dialektische Widersprüche sind Quelle der Entwicklung, und in Entwicklungszyklen ist die Richtung der Entwicklung durch relative Ziele in der dialektischen Negation der Negation bestimmt.*

5. Dialektik als Heuristik der naturwissenschaftlichen Forschung

Materialistische Dialektik ist keine apriori-Konstruktion des Philosophen, wie es dem erscheinen mag, der sich nur mit ihren Leitsätzen und Grundthesen vertraut macht oder die metaphysischen Entgleisungen von „Dialektikern" betrachtet. Engels betonte schon: „Die Menschen haben dialektisch gedacht, lange ehe sie wußten, was Dialektik war, ebenso, wie sie schon Prosa sprachen, lange bevor der Ausdruck Prosa bestand."[28]

Die materialistische Dialektik als Wissenschaft hat selbst eine lange Geschichte. Bisherige Untersuchungen zur Geschichte der Wissenschaften und zu philosophischen Aspekten spezialwissenschaftlicher Erkenntnisse zeigen, dass unterschiedliche Wissenschaften zu verschiedenen Zeiten wesentliche Beiträge zum Verständnis dieser Prinzipien leisten. Man kann so, beachtet man die Zyklizität wissenschaftlicher Erkenntnis, tatsächlich von einem *objektiven* Zwang zur Dialektik in der Wissenschaftsentwicklung sprechen. Er setzt sich als Tendenz gegen Stagnation und Regression im dialektischen Denken durch, überwindet gegensätzliche Einseitigkeiten, die sich als Antinomien in der Theorienentwicklung zeigen,[29] durch ihre Synthese und lässt dialektische Widersprüche zwischen der spontanen und bewussten Nutzung der Dialektik

27 Siehe dazu: H. Hörz/D. Seidel, Wissenschaft, Schöpfertum, Verantwortung, Berlin 1979.
28 F. Engels, Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft, („Anti-Dühring"), in: MEW, Bd. 20, a. a. O., S. 133.
29 Siehe dazu: U. Röseberg, Szenarium einer Revolution, Berlin 1984.

als philosophisch adäquater Denkweise spezialwissenschaftlicher Erkenntnis, aber auch zwischen bewusster Wissenschaftsdialektik in Teilaspekten und weltanschaulich motivierter Ablehnung der materialistischen Dialektik entstehen. Der objektive Zwang zur Dialektik setzt sich gegen gesellschaftliche Hemmnisse, erkenntnistheoretische Fehlschlüsse, subjektives Unvermögen und ideologische Gegnerschaft in einem komplizierten Prozess durch, in dem auch einseitige Haltungen von „Dialektikern" überwunden werden und die *Dialektik der Dialektikentwicklung selbst* eine Rolle spielt.

Wir gehen davon aus, dass systematische philosophische Reflexionen zur „Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis" dazu beitragen, materialistische Dialektik als *Heuristik* der naturwissenschaftlichen Forschung theoretisch zu begründen und praktisch weiter zu befördern.

Kapitel II: Natur und Erkenntnis

Nachdem das von uns unterstellte philosophische Dialektikkonzept nochmals zusammenfassend expliziert worden ist, geht es nunmehr um die weitere Klärung dessen, was im Rahmen einer Untersuchung zur Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis geleistet und worauf verzichtet werden muss. Dazu gilt es, die *Begriffe Natur* und *Erkenntnis* philosophisch zu bestimmen sowie jene *Grundlinien der Dialektik der Naturerkenntnis* vorzuzeichnen, die sowohl für die naturwissenschaftliche Forschung als auch für die philosophischen Reflexionen über diese Forschung und deren Resultate von besonderer Bedeutung sind.

1. Natur und Erkenntnis

1.1 Vorläufige Begriffserklärungen

Wir wollen im weiteren davon absehen, dass das *Wort „Natur"* verschiedentlich auch synonym für „Wesen" gebraucht wird, etwa wenn von der „Natur eines Begriffes" oder einem „in der Natur einer Sache" liegenden Umstand die Rede ist. Dann lässt sich feststellen, dass Naturwissenschaftler, Philosophen, Ökonomen, Schriftsteller oder Künstler, die heute von „Natur" sprechen, mit diesem Wort im wesentlichen durchaus ein und denselben Wirklichkeitsbereich bezeichnen, ihm aber mit Sicherheit mehr oder minder stark differenzierende Bedeutungen zuweisen. Ähnliches ist vom unterschiedlichen Gebrauch des *Wortes „Erkenntnis"* in verschiedenen Wissenschaften zu sagen. Nimmt man auch noch den aktuellen umgangssprachlichen Gebrauch beider Wörter hinzu, so vergrößert sich deren Bedeutungsvielfalt beträchtlich. Zugleich muss berücksichtigt werden, dass die gegenwärtig benutzten *Begriffe Natur* und *Erkenntnis* nicht zuletzt Resultante historischen Begriffswandels sind. Dieser wiederum ist seinerseits in übergreifende kulturhistorische Zusammenhänge eingebettet, den bis in seine einzelnen Verästelungen zu erhellen allerdings den Zweck dieses vorläufigen Begriffsklärungsversuchs bei weitem überschreiten würde. Worauf es im folgenden ankommt, das ist die Einführung der für unser systematisches Anliegen bedeutsamsten Grundbegriffe und ihres wechselseitigen, über den *Kulturbegriff* vermittelten Zusammenhangs.

Wir wollen in erster Näherung *Natur* als den in seinen Strukturen, Prozessen, Entwicklungen und Entwicklungsmöglichkeiten vom Menschen nicht hervorgebrachten Teil der objektiven Realität verstehen, während unter *Kultur* die Gesamtheit der materiellen und geistigen Produktions- und Reproduktionstätigkeiten des Menschen sowie der dabei erzeugten Produkte gefasst werden soll. Damit werden Natur und Kultur zunächst erst einmal einander ausschließend gegenübergestellt, während *Erkenntnis* als Prozess und Resultat der Widerspiegelung objektiv-realer und ideeller Zusammenhänge im menschlichen Bewusstsein stets ein Moment der Kultur ist. Berücksichtigen wir darüber

hinaus, dass der Mensch Natur- und Kulturwesen zugleich ist, dessen gesellschaftliche Lebenstätigkeiten alle auch an die natürlichen Voraussetzungen von Lebensvorgängen in seinem eigenen Körper sowie die Aufrechterhaltung dieser Lebensvorgänge über Stoffwechselprozesse mit der natürlichen Umwelt gebunden sind, so ist klar: Kultur schließt Natur ein. Diese Feststellung wird noch dadurch verstärkt, dass der in seinem Wesen als Ensemble gesellschaftlicher Verhältnisse bestimmte Mensch als Gattung über die Fähigkeit charakterisiert ist, seine Existenzbedingungen selbst produzieren zu können. Dies geschieht im *Arbeitsprozess*, der einen gesellschaftlich bestimmten Stoffwechselprozess zwischen Mensch und Natur darstellt.

Wurden Kultur und Natur zunächst erst einmal über ein Ausschließungsverhältnis bestimmt, so haben wir die Beziehungen dieser Begriffe gleich darauf in zweifacher Hinsicht als Einschließungsverhältnis charakterisieren müssen. Da beide Aussagen nicht zugleich und in derselben Hinsicht gelten, konstituieren sie keinen logischen Widerspruch. Kultur und Natur sind einander entgegengesetzt und ergänzen sich notwendigerweise. Natur ist in diesem Gegensatzverhältnis entwicklungsgeschichtliche Voraussetzung von Kultur und bleibt überdies eine ständige Bedingung jeder weiteren Kulturentwicklung. Die wiederum wirkt notwendigerweise auf die Natur zurück. Damit ist das Gegensatzverhältnis *Natur und Kultur* als *dialektisch-widersprüchliches* bestimmt.[1] Der so identifizierte dialektische Widerspruch ist ein *Grundwiderspruch* der gesamten *Kulturentwicklung* und zugleich ein *wesentlicher Widerspruch der Entwicklung* jenes *Teilbereichs der Natur*, der unter den jeweiligen historischen Bedingungen der aktiven schöpferischen Umgestaltung durch den Menschen zugänglich ist. Dieser dem praktischen Zugriff des Menschen verfügbare Teil der prinzipiell unerschöpflichen Natur ist in der bisherigen Kulturentwicklung der Menschheit beständig größer geworden, er selbst darf aber zu keinem Zeitpunkt mit der Totalität der Natur verwechselt werden. Grenzüberschreitungen in der Auseinandersetzung des Menschen mit der Natur beziehen sich keinesfalls nur auf räumliche oder zeitliche Maßstäbe; sie sind wegen der Unerschöpflichkeit der Beziehungen auf jedem Strukturniveau der Materie auch innerhalb klar fixierter Raum- und Zeitbereiche möglich.

Mit dem hier eingebrachten Verständnis des dialektisch-widersprüchlichen Gegensatzverhältnisses von Natur und Kultur lassen sich alle Dimensionen des in unserer philosophischen Literatur diskutierten Naturbegriffs erfassen.

Erstens: Wenn Natur mit der außerhalb und unabhängig vom menschlichen Bewusstsein existierenden objektiven Realität identifiziert, der *Naturbegriff* also faktisch mit dem Materiebegriff gleichgesetzt wird, dann muss beachtet werden, dass jeder Versuch, das Natur-Kultur-Verhältnis zu transzendieren, letztlich stets im Rahmen einer konkret-historisch vorfindbaren Kultur erfolgt. Alle über die allgemeine Existenzaussage einer außerhalb und unabhängig vom menschlichen Bewusstsein vorhandenen Realität hinausgehenden Aussagen, die zur inhaltlichen Bestimmung dessen

1 Vgl. G. Bartsch (Hrsg.), Der dialektische Widerspruch, Berlin 1986, S. 62.

vorzudringen versuchen, was da existiert, sind an einen zu fixierenden Erkenntnisbegriff gebunden. Jeder konkrete Erkenntnisbegriff ist notwendigerweise Moment einer *bestimmten* Kultur. Das aber bedeutet, dass eine kulturunabhängige Transzendenz des Natur-Kultur-Verhältnisses für den Naturbegriff unmöglich ist.

Zweitens wird der Naturbegriff gebraucht, um den Ursprung und die materiellen Existenzbedingungen des Menschen als Gattungswesen sowie als konkretes Individuum zu charakterisieren.

Drittens ist die Natur für die vom Menschen geschaffene Technik und Technologie Rohstoffreservoir und im Arbeitsprozeß in Gestalt konkreter Naturobjekte Gegenstand zweckbestimmter aktiver Umgestaltung zur Befriedigung sich historisch entwickelnder menschlicher Bedürfnisse. In diesen beiden Dimensionen des philosophischen Naturbegriffes wird ersichtlich, dass und warum für ihn das Natur-Kultur-Gegensatzverhältnis konstitutiv ist.

Der unmittelbare Lebensraum der überwiegenden Mehrzahl aller heute auf der Erde lebenden Menschen besteht nicht mehr dominant aus einer im Prinzip vom Menschen bislang unberührten Natur. Trotz des sehr unterschiedlichen Niveaus der Entwicklung der Produktivkräfte und der Produktionsverhältnisse in verschiedenen Regionen der Erde haben es die meisten Menschen gegenwärtig mit einer mindestens teilweise gestalteten Natur zu tun, sie treffen also in der Natur immer wieder auf die Spuren ihrer eigenen Kultur und deren Geschichte. – *Technik* und *Technologie* als vergegenständlichte menschliche Wesenskräfte sind ersichtlich Kulturprodukte. Weil die Lebensräume in den hochindustrialisierten Ländern der Erde zunehmend durch Technik und Technologie bestimmt werden, die Natur zu mehr oder minder großen Teilen technisiert ist, wird die Technik heute verschiedentlich auch als „zweite Natur" bezeichnet.

Ausgehend von den bisherigen Bestimmungen, lässt sich der Naturbegriff nur unter der Voraussetzung präzisieren, dass der dazu erforderliche Erkenntnisbegriff weiter aufgehellt wird. Lediglich die im Rahmen der materialistischen Beantwortung der Grundfrage der Philosophie getroffene Vorentscheidung hat es uns erlaubt, den Zirkel wechselseitiger Abhängigkeiten von Natur- und Erkenntnisbegriff praktisch zu durchbrechen und wenigstens im Rahmen eines vorläufigen Begriffsklärungsversuchs mit dem Naturbegriff zu beginnen. Wir werden sowohl in diesem Kapitel als auch im gesamten Buch diesen Zirkel mehrfach zu durchlaufen haben.

Hatten wir bisher festgestellt, dass *Kultur und Natur* in einem *dialektisch-widersprüchlichen Gegensatzverhältnis* stehen, so ist das Verhältnis von *Kultur und Erkenntnis* als ein *Einschließungsverhältnis* zu bezeichnen: Kultur lässt sich nicht auf menschliche Widerspiegelungsprozesse und -resultate, auf menschliche Erkenntnis im weitesten Sinne reduzieren, aber alle menschliche Widerspiegelung, alle menschliche Erkenntnis ist Bestandteil der Kultur.

Der Begriff *Erkenntnis* wird in der marxistisch-leninistischen Philosophie in unterschiedlichen Untersuchungszusammenhängen in mindestens vier *Grundbedeutungen* verwendet:

1. Der *weitere, prozessual-resultative Begriff der Erkenntnis* umfasst Wertungsprozesse und -resultate sowie Prozesse und Resultate der Erkenntnis im engeren Sinne (die wir sogleich zu charakterisieren haben) – beide als Teile des gesamtgesellschaftlichen Widerspiegelungsprozesses der objektiven Realität, des Widerspiegelungsprozesses und der entsprechenden Widerspiegelungsresultate der Menschheit. Er enthält die Gesamtheit *aller* (unauflöslich miteinander verknüpften) individuell-psychischen und historisch-gesellschaftlichen Bewusstseinsprozesse und -resultate, kennzeichnet also die Erkenntnis im umfassendsten Sinne.

2. Der *weitere*, *resultative Begriff der Erkenntnis* umfasst Wertungsresultate und wertungsdeterminierte Widerspiegelungsresultate sowie die Resultate der Erkenntnis im engeren Sinne, als Resultate des gesamtgesellschaftlichen Widerspiegelungsprozesses der objektiven Realität, als Resultate des Widerspiegelungsprozesses der Menschheit, als Erkenntnisresultate im umfassendsten Sinne. Er enthält die Gesamtheit aller (unauflöslich miteinander verknüpften) individuell-psychischen und historisch-gesellschaftlichen Bewusstseinsstrukturen.

3. Der *engere*, *prozessual-resultative Begriff der Erkenntnis* umfasst solche (miteinander verknüpften) individuell-psychischen und historisch-gesellschaftlichen Widerspiegelungsprozesse, die auf die Abbildung von Dingen, Eigenschaften, Relationen, Prozessen, wie sie objektiv beschaffen sind, auf die Gewinnung von Wissen, letztlich von wissenschaftlichen Begriffen, Aussagen, Theorien zielen, sowie diese Resultate selbst. Die erwähnten Prozesse streben eine „Entsubjektivierung", eine Desanthropomorphisierung", eine „Wertungsfreiheit" der entsprechenden Resultate an. Sie schließen Prozesse der Vor-Wertung und der Ver-Wertung der Resultate unumgänglich mit ein, aber diese Wertungen sind im Resultat nicht mehr explizit enthalten, können nur noch über wissenschaftshistorische Rekonstruktionen erschlossen werden.

4. Der *engere*, *resultative Begriff der Erkenntnis* umfasst solche Widerspiegelungsresultate, die relativ wahre (d. h. die Dialektik von relativer, objektiver und absoluter Wahrheit einbeziehende) Abbildungen von Dingen, Eigenschaften, Relationen, Prozessen, wie sie objektiv beschaffen sind, in einer zweistelligen Objekt-Abbild-Relation erfassen und letztlich wissenschaftliche Einsichten beinhalten. Diese Widerspiegelungsresultate sind in einem genauer darzustellenden Sinne „entsubjektiviert", „desanthropomorphisiert", „wertfrei": In ihnen tauchen Vor- und Ver-Wertungen, taucht das – wertende – Subjekt der Widerspiegelung nicht mehr explizit auf.

In der marxistisch-leninistischen erkenntnistheoretischen Literatur werden teilweise nur die unter 3. und 4. umrissenen Erkenntnisbegriffe als solche akzeptiert und für die unter 1. und 2. erwähnten andere Wörter verwendet.[2] Das lässt sich widerspruchsfrei durchführen. Andererseits spielen aber gerade in neuester Zeit Diskussionen um die Vor- und Ver-Wertung wissenschaftlicher Resultate, seien es Ergeb-

2 Vgl. D. Wittich/E. Gößler/K. Wagner, Marxistisch-leninistische Erkenntnistheorie, Berlin 1978, S. 66 ff.

nisse der Kernforschung, der Genetik, der Informatik und andere, eine zunehmende Rolle. Differenziert man engere und weitere, prozessuale und prozessual-resultative Erkenntnisbegriffe nicht sorgfältig, wird kaum verständlich, dass tatsächlich Wissenschaft ein „aus gesellschaftlichen Bedürfnissen entstandenes ‚Erkenntnisorgan der Gesellschaft' darstellt, dessen Charakter und Zielstellung wesentlich durch die jeweilige Gesellschaftsformation determiniert sind"[3], daß aber, andererseits, diese Determination in ihren Resultaten nicht mehr auftaucht (Naturwissenschaften) oder zumindest von unterschiedlichen Klassenstandpunkten aus nutzbar ist (Gesellschaftswissenschaften).

Die Erkenntnisbegriffe unter 1. und 2. erfordern natürlich zu bestimmen, was unter *Wertung* verstanden werden soll,[4] um dann eine Beziehung zum Kulturbegriff herzustellen.

Wir wollen einen sehr breiten, umfassenden Wertungsbegriff benutzen: Alle Widerspiegelungsresultate, die explizit Empfindungen, Gefühle, Meinungen, Haltungen, Absichten, Einschätzungen, Urteile (und Vorurteile) eines individuellen oder gesellschaftlichen Subjekts (Gruppe, Kollektiv, Schicht, Klasse, Volk, Nation usw.), die damit also das Subjekt selbst – in Form einer dreistelligen Objekt-Subjekt-Abbild-Relation – enthalten, wollen wir Wertungsresultate (falls die angeführten Einschätzungen im Mittelpunkt stehen) oder wertungsdeterminierte Resultate nennen (falls diese Einschätzungen für das Resultat eine aus diesem selbst ersichtliche Rolle spielen). – Wertungen mit handlungsverbindlichem Charakter mögen *Normen*, solche mit handlungsforderndem Charakter *Aufforderungen* heißen.[5]

Wertungen kommen in *Wertungsprozessen* zustande, in denen sich zumindest vier grundlegende Konstituenten, nämlich Objekte, Subjekte, Grundlagen (primär: die objektiven Bedürfnisse und Interessen, als objektive Bedarfszustände und Komplexe solcher objektiven – biotischen, psychischen, sozialen – Bedarfszustände des Subjekts der Wertung) und Maßstäbe der Wertung (gesellschaftlich-historische Optima der Bedürfnis- bzw. Interessenbefriedigung) voneinander abheben lassen. Wertungsprozesse vermitteln antizipierend zwischen Realität (Objekt), ihrer Erkenntnis (im engeren Sinne) und menschlicher Handlung (Praxis). Sie machen ein Handeln auch da möglich, wo Erkenntnisse im engeren Sinne teilweise oder ganz fehlen, wo der Mensch auf Erfahrungen, Vermutungen oder auch nur auf Spekulationen angewiesen ist.

Wertungen des konkreten *Individuums* sind *Emotionen* und *Motivationen.* Alle *gesellschaftlichen* Wertungen, z. B. hedonistische (Genuss), politisch-ideologische (dar-

3 K. Wagner, Worauf müssen wir bei der Behandlung philosophischer Probleme der gegenwärtigen Wissenschaftsentwicklung das Hauptgewicht legen, in: DZfPh, 7/1985, S. 648.
4 Vgl. J. Erpenbeck, Motivation – Ihre Psychologie und Philosophie, Berlin 1984.
5 Vgl. H. Wagner, Normenbegründungen, Köln 1982; W. Segeth, Aufforderung als Denkform, Berlin 1974.

unter rechtliche, religiöse, künstlerisch-ästhetische, philosophische, ökonomische usw.) müssen *interiorisiert*, d. h. in Emotionen und Motivationen des konkreten Individuums transformiert werden, um verhaltens- und handlungsrelevant werden zu können.[6]

Die hier getroffene Unterscheidung von vier Erkenntnisbegriffen ist das Resultat eines historischen Differenzierungsprozesses. Wir werden im folgenden *Naturerkenntnis* als naturwissenschaftliche Erkenntnis gemäß (3) und (4) fassen, haben jedoch philosophisch zu berücksichtigen, dass Natur auch im Rahmen der Erkenntnisbegriffe (1) und (2) thematisiert sein kann. Im Unterschied zu der von P. Janich vorgeschlagenen generellen kulturalistischen Umdeutung des Naturbegriffs[7] bestimmen wir wissenschaftliche Naturerkenntnisse als kulturgebundenes Transzendieren des Natur-Kultur-Verhältnisses, um in Übereinstimmung mit dem materialistischen Ausgangspunkt zu verdeutlichen, dass Natur *vor dem Menschen* existiert hat und *auch ohne ihn* existieren kann (was ersichtlich auf Naturwissenschaften nicht zutrifft). Diese Bestimmung des Wesens naturwissenschaftlicher Forschung wirft die Frage auf, *wie* die behauptete Transzendenz zustande kommt. Anders formuliert lautet diese Frage: In welchem Sinne sind *Ergebnisse der Naturwissenschaften „entsubjektiviert"*, *„desanthropomorphisiert"*, *„wertungsfrei"*? Darauf lässt sich vielleicht am besten antworten, wenn man von der Gegenfrage ausgeht: Worin und auf welche Weise bleibt das Subjekt der Erkenntnis, der gesellschaftliche Mensch, im naturwissenschaftlichen Resultat „enthalten"? – man denke illustrationshalber an eines der großen, relativ abgeschlossenen physikalischen Theoriengebäude, etwa an die (axiomatisierte) Thermodynamik, an die Quantenmechanik, oder an die spezielle Relativitätstheorie.

Dann lässt sich feststellen: Das „Enthaltensein" des Subjekts manifestiert sich (1) in der Verwendung menschlicher Umgangs- oder problemspezifischer Sprachen, einschließlich der Sprachen von Mathematik und Logik; (2) in der Bewertung bestimmter sprachlicher Mittel als für die Beschreibung eines Erkenntnisobjekts besonders geeignet, im Sinne einer Wertung der Erkenntniskommunikationsmittel; (3) in der Auswahl gerade *dieses* Erkenntnisobjekts, also in der Wertung „Erkenntnisinteresse" – die sich auf jede der bereits genannten Vor- und Ver-Wertungen beziehen kann, ohne dass dies im Resultat noch abzulesen wäre; (4) in der Existenz bestimmter individueller und historisch-gesellschaftlicher Erkenntnishorizonte, die zwar bewusst gemacht werden können, die aber aus dem Resultat ebenfalls nicht mehr direkt abzulesen sind. Ansonsten werden in der messenden Beobachtung und der experimentellen Praxis des wissenschaftlichen Forschungsprozesses Gegenstände der objektiven Realität auf andere Gegenstände dieser objektiven Realität bezogen (Messprozess, praktischer Eingriff, technische Konstruktion), wodurch die subjektiven Elemente, die

6 Zur Analyse der Dialektik von Interiorisationsprozessen vgl.: J. Erpenbeck, Motivation, a. a. O., S. 411 ff.

7 Vgl. P. Janich, Philosophische Beiträge zu einem kulturalistischen Naturbegriff, in: Zeitschrift für Wissenschaftsforschung, Sondernummer 3/1986, S. 35-46.

in der Erkenntnis beider aufeinander bezogenen Gegenstände der objektiven Realität entsprechend (1) bis (4) noch enthalten sind, weiter eliminiert werden.

Eine ganz andere Situation besteht in den *Gesellschaftswissenschaften*, aber auch in der Psychologie, als der *Wissenschaft vom konkreten Individuum*. Hier wird der Untersuchungsgegenstand von eigentlichen Wertungen mitkonstituiert: Historische Prozesse sind ohne ein Verständnis ethisch-moralischer, politisch-ideologischer und der anderen angeführten Wertungen wissenschaftlich weder zu untersuchen noch zu erklären. Das verlangt, die Axiologie als wirkliche Wissenschaft zu entwickeln, also Wertungen historisch-materialistisch zu untersuchen und sich nicht länger auf bloßes „Verstehen" im lebensphilosophischen Sinne zu beschränken. So schwer dies im Verhältnis zu den Naturwissenschaften auch zu realisieren sein mag: das Ideal gesellschaftswissenschaftlicher, insbesondere axiologischer Erkenntnis muss jedoch ebenfalls ein „entsubjektiviertes", „desanthropomorphisiertes", „wertungsfreies" Resultat sein. Gefragt sind *wertungsfreie Erkenntnisse* (im engeren Sinne) von *wertungstragenden Erkenntnisobjekten*.

Völlig zurecht unterscheidet J. Kuczynski strikt die Parteilichkeit der Themenwahl (Vor-Wertung), die „absolute Neutralität" der Analyse, die „objektive, wertfreie, unparteiische Herangehensweise" an den Gegenstand der gesellschaftswissenschaftlichen Untersuchung, wie sie schon Marx und Engels praktizierten, und die wiederum klassenmäßige, parteiliche Nutzung (Ver-Wertung) der Ergebnisse. „Darum ist es falsch, einen – selbstverständlich auch Engels, Marx und Lenin völlig unbekannten – Unterschied zwischen naturwissenschaftlicher und gesellschaftswissenschaftlicher Analyse in dieser Beziehung zu machen. Parteilichkeit in der gesellschaftswissenschaftlichen Analyse? Ganz bestimmt! meinen manche. Parteilichkeit in der naturwissenschaftlichen Forschung? ja oder nein oder unsicher. Ich halte eine solche Unterscheidung für falsch und meine, dass es hinsichtlich der Frage der Parteilichkeit keinen Unterschied in der naturwissenschaftlichen und gesellschaftswissenschaftlichen Analyse geben darf: die Forschung hat in jeder Beziehung ‚gleichgültig', unvoreingenommen durchgeführt zu werden."[8]

Ist man gewillt, von einem weiteren Erkenntnisbegriff (1) und (2) auszugehen, also etwa Weltanschauungen, Künsten, Religionen, und schließlich den in ihnen maßgeblich enthaltenen Wertungen selbst, beispielsweise ethisch-moralischen oder politisch-ideologischen, einen Erkenntnisgehalt – im definierten weiteren Sinne – zuzubilligen, so wird nach *wertungstragenden Erkenntnissen* (im weiteren Sinne) von *wertungstragenden Erkenntnisobjekten* gesucht. Wir haben es also, aus dieser Sicht, tatsächlich mit „*drei Kulturen*" (der Erkenntnis) zu tun: Einer, die wertungsfreie Erkenntnisse (i. e. S.) von wertungsfreien Erkenntnisobjekten anstrebt, einer zweiten, die auf wertungsfreie Erkenntnisse (i. e. S.) von wertungstragenden Erkenntnisobjekten

8 J. Kuczynski, Studien zur Wissenschaft von den Gesellschaftswissenschaften, Berlin 1972, S. 162.

aus ist, und einer dritten, die sich um die Gewinnung wertungstragender Erkenntnisse (i. w. S.) von wertungstragenden Erkenntnisobjekten bemüht.[9]

Die so umrissenen „drei Kulturen" sind als relativ klar voneinander abhebbare, unterschiedliche Erkenntnis- und Aneignungsweisen in die Gesamtheit menschlicher Kultur eingebettet. Die hier einer vorläufigen Klärung unterzogenen philosophischen Begriffe „Natur" und „Erkenntnis" lassen sich mittels kulturtheoretischer Überlegungen weiter präzisieren. Dazu aber ist es zunächst erst einmal erforderlich, den inzwischen in der marxistisch-leninistischen Kulturtheorie erreichten Erkenntnis- und Diskussionsstand philosophisch so weit zu reflektieren, wie dies für unser Anliegen erforderlich ist.

1.2 Versuch zur kulturtheoretischen Präzisierung des Natur- und Erkenntnisbegriffs

1.2.1 Wissenschaftsentwicklung als Moment welthistorischer Kulturentwicklung

Der in der marxistisch-leninistischen Kulturtheorie gegenwärtig intensiv diskutierte *Kulturbegriff* ist mindestens ebenso schillernd wie die Grundbegriffe anderer, weitaus älterer Wissenschaftsdisziplinen. Der kulturtheoretische Erkenntnisstand aber scheint durchaus schon bestimmt genug, um auch die Aufmerksamkeit von Wissenschaftsphilosophen und -theoretikern zu erheischen. In Übereinstimmung mit der Mehrzahl der führenden marxistisch-leninistischen Kulturtheoretiker wollen wir von einem Kulturbegriff ausgehen, der wesentlich weiter ist, als dies etwa C. P. Snow mit der Unterscheidung „zweier Kulturen" oder selbst der soeben zitierte W. Lepenies mit der Einführung „dreier Kulturen" signalisieren. Wir wollen im folgenden einen den *gesamten gesellschaftlichen Produktions- und Reproduktionsprozess der Menschen* umfassenden Kulturbegriff voraussetzen

„*Kultur* ist die in der materiellen und geistigen Produktion verwirklichte aktive, schöpferische Tätigkeit der Menschen (Individuen, sozialen Gruppen, Klassen, Nationen, der gesamten Gesellschaft) zur Aneignung der Welt, in deren Prozess gesellschaftlich bedeutsame materielle und geistige Werte geschaffen, aufbewahrt, verbreitet, ausgetauscht und angeeignet werden, sowie die Gesamtheit dieser Werte selbst, in denen die schöpferische Tätigkeit der Menschen vergegenständlicht ist."[10]

Indem Kultur hier als die Gesamtheit menschlicher Tätigkeiten in allen Produktions- und Reproduktionsakten sowie der dabei erzeugten Produkte verstanden wird, lassen sich innerhalb dieser in sich weiter zu strukturierenden Einheit *materielle* und *geistige Kultur* unterscheiden. Wissenschaft und wissenschaftliche Erkenntnisse sind Bestandteil der Kultur; es macht keinen Sinn, Wissenschaft und Kultur entgegenzusetzen.[11]

9 Vgl. W. Lepenies, Die drei Kulturen, München – Wien 1985.
10 Grundlagen der marxistisch-leninistischen Kulturtheorie, Berlin 1979, S. 22.
11 Vgl. D. Mühlberg, Woher wir wissen, was Kultur ist, Berlin 1983, S. 31.

Innerhalb der Kultur ist die *objektive Kultur* als Gesamtheit der objektiv verfügbaren menschlichen Wesenskräfte zu einem bestimmten historischen Zeitpunkt unter bestimmten objektiven historischen Gegebenheiten von der *subjektiven Kultur* als Ausprägung eines historisch-gesellschaftlichen Subjekts (Individuum, Gruppe, Schicht, Klasse usw.) als Repräsentant der Gattung Mensch auf vorhandenem Niveau der objektiven Kultur zu unterscheiden. *Individuelle* und *gesellschaftliche Kultur* sind dialektisch verbundene Formen der subjektiven Kultur, sie bilden den Kern der historischen Dialektik von Individuum und Gesellschaft.

Bezogen auf die in 1.1. untersuchten Erkenntnis- und Wertungsbegriffe läßt sich nunmehr zusammenfassend feststellen:

Erstens sind der engere und der weitere prozessual-resultative Erkenntnisbegriff (1) und (3) Momente der geistigen *und* der materiellen Kultur, weil sowohl wertende wie auf Wertungsfreiheit zielende Widerspiegelungsprozesse die gesamte materielle Kultur zur Grundlage haben.

Zweitens sind engerer und weiterer resultativer Erkenntnisbegriff (2) und (4) ausschließlich im Bereich der geistigen Kultur angesiedelt, die ihrerseits in theoretischer und methodischer Hinsicht die Voraussetzungen zu neuen Erkenntnissen schafft.

Drittens gehören die weiteren, Wertungen einbeziehenden Erkenntnisbegriffe (1) und (2) der subjektiven Kultur an. Dabei spielt vor allem in der künstlerischen Erkenntnis die individuelle Kultur eine herausragende, auch im Resultat (2) ablesbare Rolle.

Viertens beinhalten die engeren, auf Entsubjektivierung", auf „Wertungsfreiheit" ausgerichteten Erkenntnisbegriffe (3) und (4) vorwiegend (materielle und ideelle) Prozesse und (ideelle) Resultate objektiver Kultur, die – subjektiv angeeignet – Triebkräfte weiterer wissenschaftlicher Forschung freizusetzen vermögen.

Fünftens gehören die technischen und technologischen Vergegenständlichungen von wissenschaftlichen Erkenntnissen gemäß (4) der objektiven, materiellen Kultur an, die sowohl das jeweilige Niveau der unmittelbaren materiellen Produktion als auch der experimentellen Voraussetzungen weiteren wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritts bestimmt. Die am Beispiel wissenschaftlicher Forschung hier kurz angesprochene und im weiteren für die Naturwissenschaften noch ausführlicher zu erörternde unlösliche *Verflechtung materieller und geistiger Kultur* stellt ein innerhalb der Kulturtheorie breit diskutiertes Grundproblem dar. Ihre für die einzelnen Bereiche notwendigerweise spezifisch auszuführenden Analysen zeigen letztlich, warum ein engerer, auf geistige Tätigkeiten eingeschränkter Kulturbegriff das Phänomen Kultur wissenschaftlicher Betrachtung entzieht. Die Erkenntnis, dass materielle und geistige Kultur unlöslich miteinander verflochten sind, erzwingt also den oben unterstellten *weiten* Kulturbegriff. Eben diese Erkenntnis legt zugleich den Gedanken nahe, mittels der im *historischen Materialismus* untersuchten Dialektik von Produktivkräften und Produktionsverhältnissen, von Basis und Überbau die Totalität *kulturtheoretisch* zur betrachtender Beziehungen, Abhängigkeitsverhältnisse und Wechselbeziehungen zu strukturieren und damit wissenschaftlicher Analyse zugänglich zu machen.

Es ist auch kulturtheoretisch in Rechnung zu stellen, dass die Menschen bei der Produktion und Reproduktion ihrer Existenzbedingungen in konkret-historisch bestimmte Beziehungen zur Natur außer sich, zu anderen Menschen und zu sich selbst treten, wobei dieses Beziehungsgeflecht dominant von den Produktionsverhältnissen, jenen innerhalb der materiellen Produktion unabhängig vom Willen der Produzenten eingegangenen Beziehungen, bestimmt wird. Insofern muss sich die marxistisch-leninistische Kulturtheorie auf den historisch-materialistischen Grundansatz des Geschichtsverständnisses stützen. *Kulturtheorie* und *Geschichtsphilosophie* fallen jedoch nicht zusammen, sondern ergänzen sich wechselseitig.

Während in der philosophischen Theorie des historischen Materialismus Weltgeschichte dominant *formationstheoretisch* strukturiert wird, bietet die Kulturtheorie die Möglichkeit, Weltgeschichte unter dem Aspekt der Entwicklung des Menschen als *Gattungswesen* zu strukturieren, ohne dabei die Analyse der konkret-historischen gesellschaftlichen Formbestimmtheit zu vernachlässigen. *Sozialökonomische* und *soziokulturelle* Untersuchungen müssen in ihrer Spezifik weiter ausgeprägt und stärker aufeinander bezogen werden. Der theoretische Ausgangspunkt zur Differenzierung von Philosophie, Soziologie und Kulturtheorie ist in den Marxschen Grundlagenwerken zur Kritik der politischen Ökonomie des Kapitalismus angelegt.

Das *Marxsche* gattungsgeschichtlich umfassende *Kulturverständnis* setzt die dialektische Einheit von *Anthropogenese und Soziogenese* als Widerspiegelung des einheitlichen historischen Menschwerdungsprozesses voraus und verlangt, die Dialektik des Kulturentwicklungsprozesses in ihrer dialektisch-widersprüchlichen Einheit von Kontinuität und Diskontinuität, Tradition und Erneuerung, evolutionärer Entfaltung und revolutionären Umbrüchen zu analysieren. Das entscheidende *Kriterium* zur Beurteilung der *Entwicklungshöhe einer Kultur* „sind die durch die jeweiligen Stufen des menschlichen Gattungsprozesses der Individuen eröffneten Möglichkeiten der Entfaltung und der Entwicklung der Persönlichkeit, Herausarbeitung ihrer Subjektivität. Denn im Mittelpunkt der Kultur steht tatsächlich der Mensch, der *Mensch in der Konkretheit seines Gewordenseins*. Er ist ihr Schöpfer, ihr Produkt und zugleich ihr Ziel."[12]

In pointierter Kürze lässt sich Kultur mithin als Aneignung und Vergegenständlichung menschlicher Wesenskräfte in allen Akten der Produktion und Reproduktion bestimmen.[13] Auch diese Formulierung schließt sowohl die aktiven schöpferischen Tätigkeiten, in denen sich Fähigkeiten, Fertigkeiten, Kenntnisse, Erkenntnisse, Wer-

12 R. Schober, Mensch und Kultur in der heutigen Welt, in: Philosophie et culture. Actes du XVIIe congrès mondial de philosophie Montréal 1983, Montréal 1986, S. 128. Siehe auch: H.-O. Dill (Hrsg.), Literatur im Spannungsfeld von Kunst, Geschäft und Ideologie, Köln 1986; W. Kahle, Marx' Kulturkonzeption in „Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie": zugleich ein Programm des realen Humanismus, in: DZfPh, 10/1984, S. 99-107.
13 Formulierung D. Röseberg.

tungen, Bedürfnisse und soziale Beziehungen ausprägen, wie die Produkte dieser Tätigkeiten ein.

Im historischen Wandel der Aneignung und Vergegenständlichung menschlicher Wesenskräfte lassen sich qualitative Sprünge vor dem Hintergrund quantitativer Veränderungen ausmachen. Marx unterscheidet dabei die in der Wissenschaftsphilosophie und -theorie bislang kaum diskutierten *drei Kulturstufen der Menschheit*. Sie sind wie folgt bestimmt: „Persönliche Abhängigkeitsverhältnisse (zuerst ganz naturwüchsig) sind die ersten Gesellschaftsformen, in denen sich die menschliche Productivität nur in geringem Umfang und auf isolirten Punkten entwickelt. Persönliche Unabhängigkeit auf *sachlicher* Abhängigkeit gegründet ist die zweite grosse Form, worin sich erst ein System des allgemeinen gesellschaftlichen Stoffwechsels, der universalen Beziehungen, allseitiger Bedürfnisse, und universeller Vermögen bildet. Freie Individualität, gegründet auf die universelle Entwicklung der Individuen und die Unterordnung ihrer gemeinschaftlichen, gesellschaftlichen Productivität als ihres gesellschaftlichen Vermögens, ist die 3te Stufe."[14]

Dabei betont Marx, dass die *1. Kulturstufe* (*persönliche Abhängigkeitsverhältnisse*) notwendigerweise an Arbeitsteilung und Erzeugung eines Mehrproduktes gebunden ist, also jene die Gentilordnung schließlich sprengende Produktionsstruktur nur auf der Grundlage vorangegangener Produktivkraftentwicklung entstehen konnte. Die drei Kulturstufen sind keineswegs nur andere Bezeichnungen für bestimmte Gesellschaftsformationen. So umfasst die 1. Kulturstufe jene zwei Gesellschaftsformationen (Sklaverei und Feudalismus, die bekanntlich nicht beide durchlaufen werden müssen), in denen – bedingt durch die Vorherrschaft persönlicher Abhängigkeitsverhältnisse – lediglich lokal begrenzter Austausch stattfinden kann. Auch die vieldiskutierte asiatische Produktionsweise ist hier einzuordnen.

Die 1. Kulturstufe schafft die Voraussetzungen des Überganges zur *2. Kulturstufe* (*persönliche Unabhängigkeit, gegründet auf sachlicher Abhängigkeit*). Unter den Bedingungen der kapitalistischen Produktion kommt es durch Beseitigung der lokalen Schranken zu weltweiten Austausch-, Verkehrs- und Kommunikationsbeziehungen (was zur relativen Mehrwertproduktion führt) und zu einer historisch bis dahin beispiellosen Bedürfnisentwicklung im gesamtgesellschaftlichen Maßstab: „Also Exploriren der ganzen Natur, um neue nützliche Eigenschaften der Dinge zu entdecken; universeller Austausch der Producte aller fremden Climate und Länder; neue Zubereitungen (künstliche) der Naturgegenstände, wodurch ihnen neue Gebrauchswerthe gegeben werden ... Die Exploration der Erde nach allen Seiten, sowohl um neue brauchbare Gegenstände zu entdecken, wie neue Gebrauchseigenschaften der alten; wie neue Eigenschaften derselben als Rohstoffe etc.; die Entwicklung der Naturwissenschaft daher zu ihrem höchsten Punkt; ebenso die Entdeckung, Schöpfung und Befriedigung

14 K. Marx, Ökonomische Manuskripte (1857/58), in: MEGA, Zweite Abteilung, Band 1.1, Berlin 1976, S. 90/91.

neuer aus der Gesellschaft selbst hervorgehenden Bedürfnisse; die Cultur aller Eigenschaften des gesellschaftlichen Menschen und Production desselben als möglichst Bedürfnißreichen, weil Eigenschafts- und Beziehungsreichen – seine Production als möglichst totales und universelles Gesellschaftsproduct – (denn um nach vielen Seiten hin zu geniessen, muß er genußfähig, also zu einem hohen Grad cultivirt sein) – ist ebenso eine Bedingung der auf das Capital gegründeten Production."[15] Infolge der Arbeits- und Klassenteilung haben die Individuen in unterschiedlicher Weise an dieser universellen Entwicklung Anteil. Die mit der erweiterten Reproduktion einsetzenden Entwicklungsschübe verschärfen den Grundwiderspruch des Kapitalismus, der letztlich nur durch die Veränderung der Produktionsverhältnisse aufgehoben werden kann; die 2. Kulturstufe „schafft die Bedingungen der 3ten."[16]

Alle drei Kulturstufen stehen in einem entwicklungstheoretisch zu erklärenden Zusammenhang. Die *3. Kulturstufe (freie Individualität, gegründet auf universeller Entwicklung der Individuen als frei assoziierter Produzenten unter gemeinschaftlicher Kontrolle)* ist gegenüber der 1. Kulturstufe als Negation der Negation der Ausgangsqualität charakterisiert und schließt, bezogen auf diese Qualität, einen Großzyklus kultureller Entwicklung der Menschheit ab.

Wir hatten betont, dass im Rahmen des hier unterstellten kulturtheoretischen Konzepts keine Rede davon sein kann, *Kultur und Wissenschaft* auseinanderzureißen. So wie die gesamte *Produktivkraftentwicklung*, so ist auch die gesamte *Wissenschaftsentwicklung* Moment welthistorischer *Kulturentwicklung*. Es gibt aber keinen Grund, Produktivkraftentwicklung und Wissenschaftsentwicklung, Produktionsweisen und Erkenntnisweisen undifferenziert für den Gesamtprozess gleichermaßen aneinander zu koppeln. Vielmehr kommt es darauf an, die *Dialektik ihrer Zusammenhänge und Vermittlungen* konkret-historisch zu untersuchen. Dabei können philosophische und kulturtheoretische Überlegungen heuristisch vor allem dadurch wirksam werden, daß sie die theoretischen und methodischen Voraussetzungen dieser historischen Untersuchungen aufklären.

Wie an anderer Stelle dargelegt, führt dialektisch-materialistisches Entwicklungsdenken im Rahmen eines Ansatzes zur Theorie der *Wissenschaftsentwicklung* auf den in seinen Konsequenzen weiter auszuarbeitenden Gedanken, den realen historischen Prozess als *Typenwandel* zu modellieren.[17] Dazu werden qualitativ unterscheidbare idealisierte Wissenschaftstypen eingeführt, die einander im historischen Prozess ablösen und dabei selbst mehrere Entwicklungsphasen durchlaufen: *Wissenschaftstypen* sind die Grundqualität wissenschaftlicher Tätigkeit zur Wirklichkeitserkenntnis, Technologieentwicklung und Zielbestimmung gesellschaftlichen und persönlichen Handelns unter konkret historischen gesellschaftlichen Verhältnissen.

15 Ebenda, Band 1.2, Berlin 1981, S. 322-323.
16 Ebenda, Band 1.1, Berlin 1976, S. 91.
17 Vgl. H. Hörz, Wissenschaft als Prozeß. Grundlagen einer dialektischen Theorie der Wissenschaftsentwicklung, Berlin 1988.

Die theoretische Analyse erstreckt sich von der Herausbildungsphase erster Ansätze eines wissenschaftlichen Natur- und Gesellschaftsverständnisses (mit ihrem Höhepunkt in der antiken griechischen Wissenschaft) bis zur wissenschaftlich-technischen Revolution. Die *Ausgangsqualität* des betrachteten Entwicklungsprozesses ist durch die Phase *vorwissenschaftlicher Weltaneignung* gegeben, in der ein nennenswertes, gesellschaftlich zu verteilendes Mehrprodukt wegen des geringen Entwicklungsstandes der Produktivkräfte noch nicht erzeugt wurde, die Trennung von körperlicher und geistiget Arbeit daher faktisch nahezu unmöglich war und die gesellschaftliche Arbeitsteilung noch auf kleine soziale Verbände beschränkt blieb. Einem *Wissenschaftstyp*, der im wesentlichen durch das *enzyklopädische Werk des Aristoteles* charakterisiert wird, folgte der *Wissenschaftstyp des Zunfthandwerks und der autarken Landwirtschaft*.

Innerhalb dieses Wissenschaftstyps dominierte die Trennung von Wissenschaft und Produktion. Die in aristotelischer Tradition stehende Wissenschaft erlangte vor allem über ihre Bildungsfunktion für Eliten gesellschaftliches Ansehen und wurde später mindestens auch in wesentlichen Teilen zur theoretischen Fundierung der Theologie genutzt. Der sich in der griechischen Antike ausprägende Wissenschaftstyp kann im europäischen Raum in seiner Gesamtheit der Herausbildungsphase des welthistorisch ersten Wissenschaftstyps zugerechnet werden, dessen hier gewählte Bezeichnung („Wissenschaftstyp des Zunfthandwerks und der autarken Landwirtschaft") bedingt berechtigt ist. Sie reflektiert vor allem die abendländisch-christliche Kulturtradition mit ihrer insbesondere durch das Christentum verbreiteten hohen Wertschätzung der menschlichen Arbeit. Dieser Wissenschaftstyp hat in seiner konkret-historischen Ausprägung mit vielen regionalen Besonderheiten innerhalb räumlich getrennter Kulturen existiert und war weltweit verbreitet. Er ist in den industriell wenig entwickelten oder unterentwickelten Ländern der Erde teilweise heute noch präsent und verfügt selbst innerhalb von Kulturen, die inzwischen von einem anderen Wissenschaftstyp geprägt sind, gelegentlich noch über mehr oder minder starke Bastionen.

In Ländern, die über eine Manufakturphase zur kapitalistischen Industrieproduktion übergegangen sind, hat sich im Übergangsfeld vom Feudalismus zum Kapitalismus mit dem *Wissenschaftstyp der industriellen Revolution* ein qualitativ anderer Wissenschaftstyp ausgeprägt, der seine volle Reife im 19. Jahrhundert erreichte und im Zuge der Kolonialisierung weltweite Verbreitung fand. Dieser welthistorisch zweite Wissenschaftstyp dominierte noch bis vor kurzem. Deshalb ist seine theoretische Analyse auch am weitesten fortgeschritten.

Der sich gegenwärtig herausbildende *Wissenschaftstyp der wissenschaftlich-technischen Revolution* zeichnet sich erst in einigen Konturen ab, die aber bereits erkennen lassen, dass mit dem dritten der historisch aufeinander folgenden Wissenschaftstypen ein Großzyklus der Wissenschaftsentwicklung seinen Abschluss findet. Dieses theoretische Verständnis der Wissenschaftsentwicklung bedarf selbst noch weiterer Diskussionen. Im Interesse der Entwicklung des geschilderten Theorieansatzes erscheint jetzt aber der Hinweis auf den Zusammenhang zwischen den von Marx cha-

rakterisierten *drei Kulturstufen* und den in der Wissenschaftsgeschichte aufweisbaren *drei Wissenschaftstypen* angebracht.

Der 1. Kulturstufe (persönliche Abhängigkeitsverhältnisse) entspricht ersichtlich die Herausbildung der Wissenschaft und der Wissenschaftstyp des Zunfthandwerks und der autarken Landwirtschaft. Die 2. Kulturstufe (persönliche Unabhängigkeit, gegründet auf sachlicher Abhängigkeit) und der Wissenschaftstyp der industriellen Revolution sind engstens miteinander verbunden. Die 3. Kulturstufe (freie Individualität, gegründet auf universeller Entwicklung der Individuen als frei assoziierter Produzenten unter gemeinschaftlicher Kontrolle) setzt sozialistische Produktionsverhältnisse voraus und lässt sich nur auf der Grundlage einer Produktivkraftentwicklung verwirklichen, für die die wissenschaftlich-technische Revolution heute die Voraussetzungen schafft. Das erfordert nach dem gegenwärtigen Stand theoretischer Überlegungen auch die Herausbildung eines neuen Wissenschaftstyps, dem der wissenschaftlich-technischen Revolution.

Dieser Zusammenhang der drei Kulturstufen der Menschheit und der drei Wissenschaftstypen verdeutlicht, inwiefern Wissenschaftsentwicklung Moment welthistorischer Kulturentwicklung ist. Er zeigt zugleich, warum kulturtheoretische Forschungen wissenschaftstheoretische und -philosophische Arbeiten zu befruchten vermögen. Wir wollen nunmehr der Frage nachgehen, ob und inwiefern es sinnvoll ist, die über Kulturstufen und Wissenschaftstypen charakterisierten Umschlagpunkte in der Kulturgeschichte auch als solche innerhalb des kulturvermittelten Natur- und Erkenntnisverständnisses anzusehen. Dabei geht es nicht um eine Rekonstruktion der Geschichte in ihrer Historizität, sondern um die dem systematischen Anliegen geschuldete Frage, welche Umschlagspunkte den Weg zu dem in 1.1. geschilderten Natur- und Erkenntnisverständnis bestimmt haben.

1.2.2 Kulturstufen, Wissenschaftstypen und Naturerkenntnis

Der Mensch vermittelt seinen Stoffwechsel mit der übrigen Natur über den *Arbeitsprozess*, in dem er sich als *Naturwesen* erhält und zugleich als *Kulturwesen* entwickelt. Die in diesem Prozess eingesetzten Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstände sind in letzter Instanz vom Menschen bewusst genutzte und umgestaltete Naturobjekte, die damit zugleich immer auch zu Kulturprodukten werden. *Kulturgeschichte* setzte also eine vor jeder Kultur existierende Natur voraus. Deren Geschichtlichkeit ist heute wissenschaftlich ebenso gesichert wie die Tatsache, dass Kulturgeschichte einerseits Fortsetzung von *Naturgeschichte* ist und andererseits eine neue Qualität im Rahmen des *einheitlichen Entwicklungsprozesses der Materie* darstellt. In Übereinstimmung damit kann also Kulturgeschichte, selbst eine auf die Herausbildung und Entwicklung von Naturphilosophie und Naturwissenschaften zentrierte, nicht einfach eine an sich seiende Natur unterstellen, sondern muss auch berücksichtigen, dass der Mensch die Natur in dem Maße beherrscht und dabei partiell zugleich verändert, wie er Produktivkräfte und Produktionsverhältnisse entwickelt. Entsprechend des materialistischen

Ansatzes der marxistisch-leninistischen Philosophie ist daher zu erwarten, dass auch das jeweilige Verständnis von „Natur“ und „Erkenntnis“ von eben diesen materiellen Voraussetzungen abhängt und die jeweiligen Erkenntnisse – in Übereinstimmung mit dem dialektischen Verständnis des Materialismus – auf die Gestaltung der materiellen Verhältnisse zurückwirken. Deshalb hatten wir betont, dass materielle und geistige Kultur unlöslich miteinander verbunden sind.

F. Engels hat hervorgehoben, dass die Arbeit selbst erst den Menschen geschaffen habe[18] und dieser ist es, „in dem die Natur das Bewußtsein ihrer selbst erlangt“.[19] Um jedoch erkennen zu können, dass „grade die *Veränderung der Natur durch den Menschen*, nicht die Natur als solche allein, … die wesentlichste und nächste Grundlage des menschlichen Denkens“[20] ist, waren historische Erfahrungen reflektierter aktiver Naturveränderungen erforderlich, die zum Zeitpunkt der Herausbildung des rationalen wissenschaftlichen Reflexionsvermögens noch gar nicht vorliegen konnten. Das erwachende philosophische Denken ging daher weltweit von einer an sich seienden Natur und einem in diese Natur hineingestellten, ihr mehr oder minder ausgelieferten Menschen aus. In diesem Punkte also unterschied sich auch das logisch-rationale Denken der Griechen, das ja die Vorform wissenschaftlicher Rationalität in unserem heutigen Verständnis darstellt, nicht vom mythisch-religiösen Denken, das ebenfalls als eine historische Form menschlichen Welt- und Selbstverständnisses mit Widerspiegelungscharakter zu betrachten ist.

Die Art und Weise, *wie* die ersten griechischen Philosophen über die Natur und den Menschen in dieser Natur nachgedacht haben, unterschied aber sich grundsätzlich vom mythisch-religiösen Denken. Ohne Natur und Menschen kategorial auseinanderzureißen, lernten sie es, erkennendes Subjekt und zu erkennendes Objekt begrifflich zu unterscheiden. Das philosophisch immer als Subjekt-Objekt-Dialektik zu untersuchende Erkenntnisproblem entstand überhaupt erst durch die innerhalb der antiken griechischen Philosophie erstmalig vollzogene, relativ klare Subjekt-Objekt-Trennung.[21]

Nachdem diese Trennung vollzogen war, wurden sowohl von den antiken Naturphilosophen als auch den sich in der aristotelischen Tradition wissenden Gelehrten der Scholastik *Naturerkenntnisse dominant in ontologisierender Weise* präsentiert.

F. Engels hat zurecht betont, „daß in den mannichfachen Formen der griechischen Philosophie sich fast alle späteren Anschauungsweisen bereits im Keim, im Entstehen vorfinden“.[22] Er hat diesen sowohl für das philosophische als auch das naturwissenschaftliche europäische Denken bedeutsamen Ausgangspunkt als ersten Schritt zum

18 Vgl. F. Engels, Dialektik der Natur (1873-1882), in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26, Berlin 1985, S. 88.
19 Ebenda, S. 82.
20 Ebenda, S. 22.
21 Vgl. F. Jürß, Zum Erkenntnisproblem bei den frühgriechischen Denkern, Berlin 1976.
22 F. Engels, Dialektik der Natur (1873-1882), in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26, a. a. O., S. 170.

dialektischen Natur- und Erkenntnisverständnis gewürdigt: „Hier tritt das dialektische Denken noch in naturwüchsiger Einfachheit auf ... Bei den Griechen – eben weil sie noch nicht zur Zergliederung, zur Analyse der Natur fortgeschritten waren – wird die Natur noch als Ganzes, im Ganzen und Großen angeschaut."[23]

Der engere, resultative Begriff der Erkenntnis (4), wie er in den ontologisierenden Naturphilosophien und ersten einzelwissenschaftlichen Ansätzen meistens unterstellt wurde, war vom weiteren, resultativen Begriff der Erkenntnis (2) noch nicht klar geschieden.

Die prozessual-resultativen Begriffe der Erkenntnis (1) und (3) spielten eher beiläufig eine Rolle. Angesichts eines noch relativ wenig ausgeprägten Methodenbewußtseins der Gelehrten bestand wenig Veranlassung zu expliziten erkenntnistheoretischen Reflexionen.

Es entsprach der sozialökonomischen Stellung der Gelehrten in der Antike und der Mehrzahl ihrer noch innerhalb der 1. Kulturstufe der Menschheit agierenden Nachfolger, dass sowohl die Erkenntnisfragen als auch die damit im Zusammenhang stehenden Probleme des Naturverständnisses dominant als geistige Probleme gesehen wurden, die im Prinzip nichts mit der Mühsal der Sicherung menschlicher Existenzvoraussetzungen in der materiellen Produktion zu tun hatten.

Ungeachtet der Notwendigkeit, in konkret-historischen Untersuchungen auf die sowohl räumlich wie zeitlich sehr differenzierten Entwicklungen einzugehen, lässt sich feststellen, dass für die Herausbildung der Wissenschaft und für den gesamten *Wissenschaftstyp des Zunfthandwerks und der autarken Landwirtschaft* ein im Grunde einheitliches Natur- und Erkenntnisverständnis vorherrschte. Danach weiß sich das erkennende Subjekt als individueller Denker in Einheit mit der Natur und gelangt allein dank seiner persönlichen Beobachtungsgabe sowie natürlich vor allem seines intellektuellen Vermögens zu Erkenntnissen über die zu erkennenden Objekte der Natur (ebenso wie über die Gesellschaft und sich selbst), wobei er sie so zu nehmen hat, wie sie wirklich sind. Wenn es in diesem Prozess außer der Natur selbst etwas zu berücksichtigen gibt, dann sind das in letzter Instanz Abhängigkeiten von wissenschaftlichen und theologischen Autoritäten bzw. vom offenbarten Glauben. Der durch persönliche Abhängigkeitsverhältnisse bestimmten Kulturstufe entspricht also ein Wissenschaftstyp, in dem ebensolche Abhängigkeitsverhältnisse auch das Natur- und das Erkenntnisverhältnis dominieren. Dies ändert sich mit dem Übergang zur nächsthöheren, durch persönliche Unabhängigkeit, gegründet auf sachlicher Abhängigkeit, charakterisierten Kulturstufe und dem sich in ihrem Schoße allmählich ausprägenden Wissenschaftstyp der industriellen Revolution.

Wir wollen hier, wiederum die nuancenreichen historischen Differenzierungen eines dialektisch-widersprüchlich verlaufenden Prozesses weglassend, lediglich den Kern des entsprechenden Natur- und Erkenntnisverständnisses umreißen. Der *Wissenschaftstyp der industriellen Revolution* versteht Natur als etwas dem Menschen Äußerliches, vom Menschen auf der Grundlage erkannter bzw. zukünftig zu erkennender

23 Ebenda, S. 169.

Naturgesetze Beherrschbares. Dabei ist die ursprüngliche kategoriale Identität von Natur und Kultur, von Natur und Mensch aufgelöst. In den von der Philosophie emanzipierten Naturwissenschaften wird deren kategoriale Verschiedenheit unterstellt. Die Naturwissenschaften reduzieren Erkenntnis auf den engeren, resultativen Begriff der Erkenntnis (4) und überlassen die den Prozess der Erkenntnisgewinnung einschließenden Betrachtungen zumeist erkenntnistheoretischen Reflexionen der Philosophie.

Für die Naturwissenschaftler ist Erkenntnis nunmehr ein Unternehmen, bei dem man die Natur *nicht* länger einfach so nehmen kann, wie sie wirklich ist. Um erkennen zu können, müssen die Dinge *idealisiert* und mindestens teilweise gedanklich *aus ihrem Zusammenhang herausgelöst* werden. Die Totalität der Natur wird zergliedert. Da sich Erkenntnisse auch praktisch zu bewähren haben, liegt der Gedanke nahe, den Erkenntnisprozess mit der materiellen Produktionspraxis zu verbinden. Erkennen ist dann nicht länger nur geistiges Abenteuer, sondern setzt auch *materiell-gegenständliche Einwirkungen* des erkennenden Subjekts auf das zu erkennende Objekt und die messende Beobachtung der Folgen jener im Experiment als objektivem Analysator der Natur vermittelten Subjekteinwirkungen auf das Objekt voraus. Der Erkenntnisprozess ist also nicht mehr als Beobachtung und denkende Erfassung eines an sich seienden Objekts durch ein ebenfalls der Objektwelt zugehöriges Erkenntnissubjekt zu verstehen, sondern er ist eine genauer zu analysierende *Subjekt-Objekt-Interaktion* unter der Voraussetzung kategorial streng geschiedener Objekt- und Subjektwelt.

Die im Wissenschaftstyp des Zunfthandwerks und der autarken Landwirtschaft noch vorherrschende Trennung von Wissenschaft und Produktion wird im Wissenschaftstyp der industriellen Revolution zunehmend überwunden. K. Marx konstatierte schon 1844: „Die Geschichtsschreibung selbst nimmt auf die Naturwissenschaft nur beiläufig Rücksicht, als Moment der Aufklärung, Nützlichkeit, einzelner grosser Entdeckungen. Aber desto *praktischer* hat die Naturwissenschaft vermittelst der Industrie in das menschliche Leben eingegriffen und es umgestaltet und die menschliche Emancipation vorbereitet, sosehr sie unmittelbar die Entmenschung vervollständigen mußte.“[24]

Eben diese von der Geschichtsschreibung damals (und auch später nicht selten) vernachlässigten Eingriffe der Naturwissenschaften in das menschliche Leben führen schließlich im Wissenschaftstyp der industriellen Revolution zu einem Naturverständnis, nach dem Natur im Prinzip auf die *technisch verfügbare Natur* reduziert ist, die ursprüngliche Gleichberechtigung von Mensch und Natur im Gefolge der universellen Aneignung der Natur durch das Kapital in ein Herrschaftsverhältnis des Menschen über die Natur transformiert wird: „Die Natur wird erst rein Gegenstand für den Menschen, rein Sache der Nützlichkeit; hört auf als Macht für sich anerkannt zu werden; und die theoretische Erkenntniß ihrer selbständigen Gesetze erscheint

24 K. Marx, Ökonomisch-philosophische Manuskripte (1844), in: MEGA Erste Abteilung, Band 2, Berlin 1982, S. 395/396.

selbst nur als List, um sie den menschlichen Bedürfnissen, sei es als Gegenstand des Consums, sei es als Mittel der Production, zu unterwerfen. Das Capital treibt dieser seiner Tendenz nach ebenso sehr hinaus über nationale Schranken und Vorurtheile, wie über Naturvergötterung".[25]

Im Natur- und Erkenntnisverständnis des Wissenschaftstyps der industriellen Revolution findet sich also jene auf sachlicher Abhängigkeit gegründete persönliche Unabhängigkeit wieder, die insgesamt für diese Kulturstufe charakteristisch ist. Die als „List" erscheinende Erkenntnis „selbständiger" Naturgesetze lässt sich im Rahmen dieser Konzeption nur dann konsistent denken, wenn die Denk- und die Seinsgesetze entweder zusammenfallen oder aber mindestens analog sind.

Dieses Zusammenfallen bzw. Analogisieren zweier Gesetzesreihen ist seinem Inhalt nach auf materialistische Weise im mechanischen Materialismus und seiner Form nach auf idealistische Weise vor allem im objektiven Idealismus von Hegel untersucht worden. Hegels Dialektik war zugleich der philosophiehistorische Hintergrund für Engels' Kritik an der mechanisch-materialistischen Naturanschauung, jener „eigenthümlichen Gesamtanschauung, deren Mittelpunkt die Ansicht *von der absoluten Unveränderlichkeit der Natur* bildet".[26]

Vor allem in Auseinandersetzung mit der *idealistischen* Dialektik Hegels begründete Engels die sich auf materialistische Aufarbeitung der Geschichte der Naturwissenschaften und ihrer neuesten Tendenzen stützende „Dialektik der Natur". Sie ist im wesentlichen bestimmt durch den großen Grundgedanken, „daß die Welt nicht als ein Komplex von fertigen *Dingen* zu fassen ist, sondern als ein Komplex von *Prozessen*, worin die scheinbar stabilen Dinge nicht minder wie ihre Gedankenabbilder in unserm Kopf, die Begriffe, eine ununterbrochene Veränderung des Werdens und Vergehens durchmachen, in der bei aller scheinbaren Zufälligkeit und trotz aller momentanen Rückläufigkeit schließlich eine fortschreitende Entwicklung sich durchsetzt".[27]

Es besteht, wie die Untersuchungen zur Geschichte des Entwicklungsdenkens zeigen,[28] sicher kein Grund zu der Annahme, der Wissenschaftstyp der industriellen Revolution schließe notwendigerweise ein evolutionäres Naturverständnis aus. Keinem Zweifel aber unterliegt die Tatsache, dass der sich gegenwärtig herausbildende *Wissenschaftstyp der wissenschaftlich-technischen Revolution* ein einheitliches *entwicklungstheoretisches Naturverständnis* verlangt. Wir gehen davon aus, dass in Engels' „Dialektik der Natur" einige der wesentlichsten philosophischen Konturen dieses

25 K. Marx, Ökonomische Manuskripte (1857/58), in: MEGA, Zweite Abteilung, Band 1.2, a. a. O., S. 322.
26 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26, a. a. O., S. 302.
27 F. Engels, Ludwig Feuerbach und der Ausgang der klassischen deutschen Philosophie, in: MEW, Bd. 21, Berlin 1973, S. 293.
28 Vgl. F. Gelhar, Die selbstschöpferische Kraft der Materie (Diss. B), Berlin 1988; K. Wenig, Das Entwicklungsprinzip in der Naturerkenntnis (Diss. B), Berlin 1988.

Natur und Kultur umfassenden Weltbildes bereits umrissen sind. Um das auch für die modernen Naturwissenschaften höchst aktuelle philosophische Forschungsprogramm erfolgreich weitertreiben zu können, ist hier zunächst erst noch auf ein dialektisch- und historisch-materialistisch zu überwindendes erkenntnistheoretisches Problem des Wissenschaftstyps der industriellen Revolution einzugehen.

Unter der Voraussetzung der mechanischen Entsprechung oder der objektiv-idealistisch begründeten *Identität von Denken und Sein* lässt sich die für diesen Wissenschaftstyp charakteristische kategoriale Verschiedenheit von Natur und Mensch mindestens partiell wieder durchbrechen. Der Erfolg mit den sich praktisch bewährenden Naturerkenntnissen hat den mechanischen Materialismus verleitet, das Erkenntnisproblem zu negieren und die *Naturerkenntnisse* selbst zu *ontologisieren*. Dies ist auf subjektiv-idealistischer Grundlage in Kants „Kritik der reinen Vernunft" (1781) ganz entschieden angegriffen worden, dessen wesentliche Resultate alsbald aber in der Hegelschen Identitätsphilosophie wieder negiert wurden.

Aus dem 1882 entstandenen Manuskript „Erkennen" geht hervor, dass für F. Engels die in Hegels dialektischer Logik enthaltene „Untersuchung der Denk*formen*, Denkbestimmungen sehr lohnend und notwendig" war[29] und er dabei (wie aus dem nachfolgenden Manuskript zur „Logik der Wissenschaft" ersichtlich) mit Hegel davon ausging, „daß Denkgesetze und Naturgesetze nothwendig mit einander stimmen, sobald sie nur richtig erkannt sind".[30] Dem entspricht dann auch die abwertende Bemerkung zu der von Kant auf die Tagesordnung gesetzten Fragestellung nach den Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung: „Um zu wissen was unser Denken ergründen kann, nützt es nichts 100 Jahre nach Kant die Tragweite des Denkens aus der Kritik der Vernunft, der Untersuchung des Erkenntnis-Instrumentes entdecken zu wollen."[31] Diese Bemerkung erhellt ebenso wie die Feststellung, dass das, „was unser Denken ergründen kann", aus dem zu ersehen sei, „was es bereits ergründet hat und noch täglich ergründet"[32] und andere Passagen in der „Dialektik der Natur": Engels vermochte noch nicht zu erkennen, dass die erkenntnistheoretisch fruchtbare Fragestellung Kants eigentlich über die Hegelsche Identitätsphilosophie (Identität von Denken und Sein) hinausweist. Auch philosophischer Erkenntnisfortschritt (hier bezogen auf die Untersuchung der Dialektik von Denkbestimmungen) ist kein linearer Prozess, sondern ein zutiefst widersprüchlicher, in dem einmal errungene Positionen durchaus wieder verlorengehen können.

Der Wahrheitsgehalt des Erkannten ist nicht dadurch zu ermitteln, dass man die entsprechenden theoretischen Aussagen einfach mit den objektiv-realen Sachverhalten vergleicht. Die Praxis (wissenschaftliches Experiment und materielle Produktion)

29 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26, a. a. O., S. 228.
30 Ebenda, S. 230.
31 Ebenda, S. 228.
32 Ebenda.

als Kriterium der Wahrheit anzuerkennen – wie dies Engels zurecht gefordert hat –, verlangt zu analysieren, inwiefern die *Erkenntnismittel* und die *Erkenntnisbedingungen Einfluss* auf die Aussagen über die Erkenntnisobjekte haben können. Deshalb ist der *dialektische Materialismus* – wie Lenin herausgearbeitet hat – als *dialektische Synthese von Ontologie und Gnoseologie* aufzufassen. Deshalb auch besagt die *dialektisch-materialistische Widerspiegelungstheorie*, dass jede *Erkenntnis* eine *dialektische Einheit von Abbild und Entwurf* darstellt. Keiner der wissenschaftlich gültigen Sätze ist als Isomorphierelation zwischen den erkannten und den zu erkennenden Strukturen zu verstehen. Das *Erkenntnisproblem* ist philosophisch prinzipiell nicht aufzuheben, sondern nur als solches zu reflektieren. Und dabei reicht Kants Fragestellung weiter als Hegels im Rahmen seiner Identitätsphilosophie gegebene Antwort.

Im Unterschied zu Kant darf man jedoch bei der Analyse der Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung natürlich nicht bei der Analyse des Bewusstseins, noch dazu des individuell-subjektiven, stehenbleiben. Ja dies ist, wie die materialistische Kant-Kritik zeigt, sogar der falsche Ausgangspunkt.[33] Die Fruchtbarkeit der Kantschen Fragestellung im Rahmen einer dialektisch-materialistischen Erkenntnistheorie besteht in der Aufforderung, *alle* vom gesellschaftlichen Erkenntnissubjekt im Erkenntnisprozess benutzten *Mittel* als unabdingbare Momente einer *aktiv gestalteten Subjekt-Objekt-Beziehung* zu begreifen und zu analysieren.[34] Dazu gehören sowohl die Mittel des materiell-gegenständlichen Eingriffs im Experiment und im Messprozess als auch alle ideell-geistigen, wie Idealisierungen, Formalisierungen, Begriffe, Sprachen, Hypothesen, theoretische Konstrukte, Konzeptionen, Forschungsprogramme und selbstverständlich auch die entwicklungstheoretisch zu erklärenden intellektuellen Leistungen des Menschen von der sinnlichen Wahrnehmung bis zur Fähigkeit theoretischen Erklärens. – Bevor wir uns diesen Fragen unseres heutigen Verständnisses von *Naturerkenntnis* weiter zuwenden, ist hier zunächst erst einmal auf die innerhalb der industriellen Revolution sich bereits abzeichnenden und mit der Entfaltung der wissenschaftlich-technischen Revolution unabdingbar werdenden Veränderungen des Naturverständnisses zu verweisen.

Zu einer Zeit, als unter Naturwissenschaftlern und Technikern noch ungebrochener Optimismus dominierte, dass *Erkenntnisfortschritte* und deren *technische Verwertungen* zwangsläufig den *sozialen Fortschritt* befördern und den Grad menschlicher Naturbeherrschung vertiefen würden, wiesen Marx und Engels schon mit Nachdruck sowohl auf die sich aus der beschleunigten Entwicklung der Produktivkräfte ergebende *Zuspitzung der Klassenwidersprüche des Kapitalismus* als auch auf die mit der fortschrei-

33 Vgl. A. Gedö, Kantsche Erkenntniskritik – Marxsche Erkenntnistheorie, H. J. Sandkühler, Revolutionärer Materialismus als Erkenntnistheorie, beide in: M. Buhr/T. I. Oiserman (Hrsg.), Revolution der Denkart oder Denkart der Revolution, Berlin 1976.
34 Vgl. V. A. Lektorskij, Subjekt – Objekt – Erkenntnis. Grundlegung einer Theorie des Wissens, Frankfurt/M. – Bern – New York 1985.

tenden industriellen Revolution verbundenen *Gefahren irreversibler Naturschädigungen* hin. So warnte F. Engels beispielsweise 1876 – also ein Jahrzehnt vor jener Rede, in der W. v. Siemens diesem Zeitalter den Namen „naturwissenschaftliches Zeitalter" gab[35] – davor, die „menschlichen Siege über die Natur" zu überschätzen: „Für jeden solchen Sieg rächt sie sich an uns. Jeder hat in erster Linie zwar die Folgen, auf die wir gerechnet, aber in zweiter und dritter Linie hat er ganz andre, unvorhergesehene Wirkungen, die nur zu oft jene ersten Folgen wieder aufheben ... so werden wir bei jedem Schritt daran erinnert, daß wir keineswegs die Natur beherrschen wie ein Eroberer ein fremdes Volk beherrscht, wie jemand, der außer der Natur steht – sondern da wir mit Fleisch und Blut und Hirn ihr angehören und mitten in ihr stehn, und daß unsre ganze Herrschaft über sie darin besteht, im Vorzug vor allen andern Geschöpfen ihre Gesetze erkennen und richtig anwenden zu können."[36]

Diese heute auf den Begriff „Ambivalenz des Fortschritts"[37] gebrachte Erkenntnis ergab sich für Engels aus der konkreten Analyse von Beispielen; sie war theoretisch vor allem durch konsequentes dialektisch-materialistisches Entwicklungsdenken vorbereitet, für das Höherentwicklung nur als *Tendenz* eines dialektisch-widersprüchlich verlaufenden, Stagnation und Regression einschließenden Prozesses gefasst werden kann.

Die *stürmische Entwicklung der Industrie* „als *exoterische* Enthüllung der menschlichen *Wesenskräfte*"[38] *und der Naturwissenschaften* in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts drängt dahin, die dem Wissenschaftstyp der industriellen Revolution entsprechende Erkenntnis- und Naturkonzeption zu sprengen. Dieser Druck verstärkt sich im 20. Jahrhundert weiter und wird heute unter den Voraussetzungen der seit Mitte dieses Jahrhunderts einsetzenden *wissenschaftlich-technischen Revolution* in Gestalt naturphilosophischer und naturwissenschaftlicher *Herausforderungen* an die inzwischen als „klassisch" bezeichnete *Naturkonzeption* diskutiert.[39] Der Kern dieser Entwicklungen besteht philosophisch darin, dass sich – wie Engels bereits angenommen hatte – „die Menschen wieder als Eins mit der Natur nicht nur fühlen sondern auch wissen" und dabei „jene widersinnige und widernatürliche Vorstellung von einem Gegensatz zwischen Geist und Materie, Mensch und Natur, Seele und Leib, wie sie seit dem Verfall des klassischen Alterthums in Europa aufgekommen und im Christenthum ihre höchste Ausbildung erhalten hat"[40], kritisch bewerten.

35 Vgl. W. v. Siemens, Das naturwissenschaftliche Zeitalter, Berlin 1886.
36 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26, a. a. O., S. 550/551.
37 Vgl. C. F. v. Weizsäcker, Der Garten des Menschlichen. Beiträge zu einer geschichtlichen Anthropologie, Frankfurt/M. 1980, S. 45.
38 K. Marx, Ökonomisch-philosophische Manuskripte (1844), in: MEGA, Erste Abteilung, Band 2, a. a. O., S. 396.
39 Vgl. J. Götschl, Herausforderungen an die klassische Naturkonzeption aus der Sicht des 20. Jahrhunderts, in: Zeitschrift für Wissenschaftsforschung, Sondernummer 3, Band 3, Heft 3 (August 1986), S. 9-24, und weitere Beiträge dieses Heftes.
40 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26, a. a. O.

Dabei geht der größte Problemdruck zur *Veränderung des Naturverständnisses* von jenen durch die Kulturentwicklung der letzten Jahrzehnte potenzierten Naturschädigungen aus, die als globale Umweltprobleme zu diagnostizieren sind und bei deren weiterer Eskalation für die Menschheit existenzbedrohende Zustände erreicht werden können. Wegen der *Irreversibilität kultureller Entwicklung* und der sich darauf ergebenden *Irreversibilität kulturinduzierter Naturveränderungen* hat Marx auf die Notwendigkeit gesellschaftlicher Lösungen verwiesen, die im Übergang zur nächsthöheren Kulturstufe liegen: „Wie der Wilde mit der Natur ringen muß, um seine Bedürfnisse zu befriedigen, um sein Leben zu erhalten und zu reproduzieren, so muß es der Zivilisierte, und er muß es in allen Gesellschaftsformen und unter allen möglichen Produktionsweisen. Mit seiner Entwicklung erweitert sich dies Reich der Naturnotwendigkeit, weil die Bedürfnisse; aber zugleich erweitern sich die Produktivkräfte, die diese befriedigen. Die Freiheit in diesem Gebiet kann nur darin bestehn, daß der vergesellschaftete Mensch, die assoziierten Produzenten, diesen ihren Stoffwechsel mit der Natur rationell regeln, unter ihre gemeinschaftliche Kontrolle bringen, statt von ihm als von einer blinden Macht beherrscht zu werden; ihn mit dem geringsten Kraftaufwand und unter den ihrer menschlichen Natur würdigsten und adäquatesten Bedingungen vollziehn."[41]

Obgleich dieser Schluss nach wie vor gültig bleibt, sind wegen des existentiellen Gefahrenpotentials weiterer gravierender Umweltschädigungen dazu ergänzende Überlegungen erforderlich.

Die unter den Bedingungen der wissenschaftlich-technischen Revolution sich heute abzeichnenden *globalen Probleme* waren aus der Perspektive der Produktivkraftentwicklung des zuendegehenden 19. Jahrhunderts ebensowenig prognostizierbar wie die Tatsache, dass die *welthistorische Übergangsepoche* von der 2. und 3. Kulturstufe einen langen Prozess des gleichzeitigen nebeneinander Fortbestehens kapitalistischer und sozialistischer Produktionsweisen einschließt, wobei regional teilweise auch noch die vorkapitalistischen Produktionsweisen fortbestehen. Wegen des bis heute angehäuften, die menschliche Existenz bedrohenden Potenzials an Massenvernichtungswaffen, wegen der weltweit wachsenden Umweltprobleme und der sich im Weltmaßstab abzeichnenden Diskrepanzen zwischen Ressourcenverfügbarkeit und weiter wachsender Weltbevölkerung ist die gesamte menschliche *Kulturentwicklung* gegenwärtig an einem Punkt angelangt, wo das Verständnis der Menschheit als „Gefahrengemeinschaft" abgelöst werden muss durch ein globales Selbstverständnis der *Menschheit als „Verantwortungsgemeinschaft" für humane Zukunftsoptionen.* Dieser *notwendige* Perspektivenwechsel bedeutet natürlich nicht, dass die Klassenauseinandersetzungen um die Zukunftsmodelle eingefroren würden. Er verlangt Verständnis für die Notwendigkeit zur vorbehaltlosen weltweiten Anerkennung der Politik friedlicher Koexistenz von Staaten mit unterschiedlicher Gesellschaftsordnung.

41 K. Marx, Das Kapital. Dritter Band, in: MEW, Bd. 25, Berlin 1983, S. 828.

Wir haben auch bei unseren auf die kommunistischen Perspektiven der Menschheit ausgerichteten Überlegungen davon auszugehen, dass das Mensch-Natur-Verhältnis selbst in der 3. Kulturstufe keineswegs problemlos sein wird. Aus der Erkenntnis, dass der durch einen rationell geregelten Stoffwechsel des Menschen mit der Natur erzielte Kulturfortschritt nicht ohne weitere irreversible Veränderungen der Natur zu haben sein wird, hat Marx die weitreichende Konsequenz gezogen: „Vom Standpunkt einer höhern ökonomischen Gesellschaftsformation wird das Privateigentum einzelner Individuen am Erdball ganz so abgeschmackt erscheinen, wie das Privateigentum eines Menschen an einem andern Menschen. Selbst eine ganze Gesellschaft, eine Nation, ja alle gleichzeitigen Gesellschaften zusammengenommen, sind nicht Eigentümer der Erde. Sie sind nur ihre Besitzer, ihre Nutznießer, und haben sie als boni patres familias[42] den nachfolgenden Generationen verbessert zu hinterlassen."[43]

Mit diesem der *3. Kulturstufe der Menschheit* entsprechenden *Naturverständnis* sind wir an einem der beiden Endpunkte des Versuchs angelangt, unsere vorläufigen Begriffsbestimmungen für „Natur" und „Erkenntnis" kulturtheoretisch zu präzisieren. Dabei hat sich gezeigt: Die der 1. und 2. Kulturstufe entsprechenden Wissenschaftstypen verfügen jeweils über charakteristische Natur- und Erkenntniskonzeptionen, die unter den Bedingungen der sich gegenwärtig entfaltenden wissenschaftlich-technischen Revolution an ihre Grenzen stoßen.

Heute geht es in den Diskussionen um die Ausprägung des *Wissenschaftstyps der wissenschaftlich-technischen Revolution* darum, die Einseitigkeiten des Erkenntnisbegriffes der vorangegangenen Wissenschaftstypen konstruktiv zu überwinden, indem die in 1.1. abgehandelten vier Grundbedeutungen des Begriffs in ihrer Spezifik weiter untersucht werden. Zugleich sind *Humanismus* und *wissenschaftliches Naturverständnis* nicht länger als Antipoden zu betrachten. Gefragt ist humane Beherrschung der Natur. Der Wissenschaftstyp der wissenschaftlich-technischen Revolution wird sich der Marxschen Vision nähern: „Die *gesellschaftliche* Wirklichkeit der Natur und die *menschliche* Naturwissenschaft oder die *natürliche Wissenschaft vom Menschen* sind identische Ausdrücke."[44]

Um das forschungsprogrammatisch auf den Begriff „Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis" gebrachte Natur- und Erkenntnisverständnis am konkreten Material der Naturwissenschaften und ihrer Geschichte philosophisch weiter zu vertiefen, bedarf es auch des Versuchs, die gegenwärtigen Erkenntnisse über die Voraussetzungen begrifflicher Naturerkenntnisse mindestens summarisch in unsere vorläufigen Begriffserklärungen einzubringen. Dies geschieht im folgenden in dem Bewusstsein, dass die detaillierte Ausführung des entsprechenden Punktes eigentlich

42 gute Familienväter
43 Ebenda, S. 784.
44 K. Marx, Ökonomisch-philosophische Manuskripte (1844) in MEGA, Erste Abteilung, Band 2, a. a. O., S. 396.

eine eigenständige monographische Darstellung verlangen würde, die neben wirklich erregenden neuen Erkenntnissen (zumeist jüngeren Datums) zugleich auf eine Fülle von im Detail bislang ungeklärten Problemen verweisen müsste.

1.3 Wissenschaftliche Erkenntnisse über die natürlichen und gesellschaftlichen Voraussetzungen der Naturerkenntnis

Jede Erkenntnis, so hatten wir festgestellt, ruht auf den Errungenschaften der erreichten menschlichen Kultur, und umgekehrt: Kultur ist zwar nicht auf menschliche Erkenntnis, auf menschliches Wissen beschränkbar, aber ohne dieses existiert sie nicht.

Daraus folgt sofort: Will man die Voraussetzungen menschlicher Erkenntnis im weiteren Sinne, erst recht im engeren Sinne, insbesondere die Voraussetzungen der Naturerkenntnis untersuchen, kann man sich selbstverständlich nicht auf die natürlichen – physikalischen, biochemischen, biotischen – Voraussetzungen beschränken. Man muss vielmehr die gesamte Kultur, soweit sie für die Naturerkenntnis unmittelbar oder vermittelt wichtig ist, einbeziehen. Dazu ist Kultur im umfassenden Verständnis Aneignung und Vergegenständlichung menschlicher Wesenskräfte in allen Akten ihrer Produktion und Reproduktion.

Allerdings dürfen die natürlichen, insbesondere die biotischen Voraussetzungen der Erkenntnis, auch der Naturerkenntnis, nicht vernachlässigt werden. Verfolgt man die Evolution und die Mechanismen tierischen Widerspiegelungsvermögens, lässt sich eine Fülle von Einsichten auch für das Verständnis menschlichen Erkennens gewinnen. Zugleich führen solche Untersuchungen gerade an die Grenzlinie zwischen tierischer Natur und menschlicher Kultur heran, markieren sie deutlich, lassen sie uns oft erst richtig wahrnehmen.

Ein Ansatz, der sich besonders dieser biotischen Grundlagen und Voraussetzungen des Erkennens annimmt, ist die „*Evolutionäre Erkenntnistheorie*". Allerdings vermischt sie jene wichtigen Vorfragen mit philosophischen Grundproblemen, will auf die philosophische Grundfrage nach der Quelle des Wissens erklärtermaßen eine *einzelwissenschaftliche* Antwort geben, also erkenntnistheoretische Fragen mit Hilfe einer naturwissenschaftlichen Theorie, der Evolutionstheorie, beantworten.[45] Andererseits ist sie aber gezwungen, selbst *philosophische* Grundannahmen zu machen, die sie als „hypothetischen Realismus" bezeichnet.

Zu Recht wird festgestellt: Es „zeigte sich, daß diese Theorie bei den Fachphilosophen eher auf Ablehnung, bei den an Philosophie interessierten Wissenschaftlern anderer Disziplinen vorwiegend auf fast selbstverständlich beifällige Resonanz stieß."[46] Aus diesem Grund wollen wir einen Einblick in jene Theorie geben, ehe wir uns der weiteren, insbesondere kulturellen Voraussetzungen der Naturerkenntnis zuwenden.

45 Vgl. G. Vollmer, Evolutionäre Erkenntnistheorie, Stuttgart 1975, S. 102.
46 P. Moser, Editorial, in: Information Philosophie, H. 4, Oktober 1986, S. 3.

„Evolutionäre Erkenntnistheorie“ ist eine naturwissenschaftlich-philosophische, erkenntnistheoretische Anschauung, die sich faktisch von 1941 her datiert.[47] Zu ihren Vorvätern – je nach philosophischer Bildung und Ausbildung ihrer Gründer – werden G. W. Leibniz, I. Kant, H. Helmholtz, H. Spencer, Ch. Darwin, E. Haeckel, N. Hartmann, L. Boltzmann, E. Mach, B. Bavink und zu ihren Vätern D. Campbell, K. Popper und andere gezählt. Ihre wichtigsten Vertreter sind neben ihrem gedanklichen Vorreiter K. Lorenz und ihrem ersten Systematiker G. Vollmer die Naturwissenschaftler und Philosophen R. Riedl, F. M. Wiketits, R. Kaspar, E. Oeser, H. Mohr; in der einen oder anderen Hinsicht werden auch L. v. Bertalanffy, E. Jantsch, J. Monod, B. Rensch, G. G. Simpson, M. Bunge, J. Piaget, H. Maturana, I. Prigogine, H. Haken, M. Eigen und andere für die „Evolutionäre Erkenntnistheorie“ reklamiert. Die Hauptvertreter sind also vorwiegend philosophierende Naturwissenschaftler. Wo bedeutende Philosophen der Vergangenheit genutzt werden, erscheinen deren Theorien oft stark zurechtgestutzt, wie bei I. Kant oder N. Hartmann. Marxismus oder gar Leninismus kommen selbst in kritischen Auslassungen kaum vor, entsprechend wird die Gesellschaftlichkeit des Menschen nur in wenig überzeugenden Abstraktionen erfasst, Zusammenhänge zwischen Ökonomie – Gesellschaft – Individuum werden nicht gesehen. Gleichzeitig ist aber der Zwang zu Dialektik und Materialismus, wie er aus den behandelten Problemen selbst erwächst, überall spürbar.

Die „Evolutionäre Erkenntnistheorie“ ist als ein Versuch aufzufassen, die *Aprioris unserer Erkenntnis als Aposterioris der Evolution* unter Annahme zweier *Grundpostulate* zu erklären.

1. „Alle Lebewesen sind mit bestimmten angeborenen Strukturen ausgestattet. Kein Lebewesen ist bei seiner Geburt ein ‚leerer Kasten‘, eine *tabula rasa*, sondern verfügt über bestimmte ‚Dispositionen‘, die erst weitere individuelle Lebensleistungen ermöglichen.

2. Die angeborenen Strukturen ihrerseits sind Produkte der Evolution; sie sind Ergebnisse der natürlichen Auslese, die unter allen ‚Anfangsprodukten‘ diejenigen bevorzugt, die den Organismus zum Leben und Überleben befähigen.“[48] Als *Grundfrage* der „Evolutionären Erkenntnistheorie“ lässt sich formulieren: „*Wie kommt es, daß Erkenntnisstrukturen und reale Strukturen (teilweise) übereinstimmen?*“[49] Die Antworten auf diese Grundfrage und die Benutzung der Postulate unterscheiden sich bei den verschiedenen Autoren, obgleich sie sich auf gleiches einzelwissenschaftliches Material bei ihren philosophischen Verallgemeinerungen stützen.

Die „Evolutionäre Erkenntnistheorie“ geht von einer deutlich umrissenen Beantwortung der philosophischen Grundfrage aus, die sie, von D. Campbell und K.

47 Gemeint ist der Artikel des Nobelpreisträgers K. Lorenz: ders., Kants Lehre vom Apriorischen im Lichte gegenwärtiger Biologie, in: Bl. f. Deutsche Philosophie, 1/2, 1941, S. 94-125.
48 F. Wuketits, Evolutionäre Erkenntnistheorie – Die neue Herausforderung, in: K. Lorenz/F. M. Wuketits, Die Evolution des Denkens, München Zürich 1983, S. 18.
49 G. Vollmer, Evolutionäre Erkenntnistheorie Stuttgart 1975, S. 54.

Lorenz herstammend, als *hypothetischen Realismus* bezeichnet. Seine *Hauptthesen* sind: „Hypothetischer Charakter aller Wirklichkeitserkenntnis; Existenz einer bewußtseinsunabhängigen (1), gesetzlich strukturierten (2) und zusammenhängenden Welt (3); teilweise Erkennbarkeit und Verstehbarkeit dieser Welt (4) durch Wahrnehmung (5) Denken (6) und eine intersubjektive Wissenschaft (7).“[50] Schon diese allgemeine Zusammenfassung lässt erkennen, daß hier mindestens zwei Bestimmungsstücke im Vergleich zum – historischen – Materialismus fehlen: Die Annahme der Existenz einer *objektiv* realen, nicht nur realen (also bewusstseinsunabhängigen) Welt (bewusstseinsunabhängig wäre auch jede Art objektiv-idealistisch angenommenes Konstrukt) und das Fehlen jeglichen Verständnisses der wirklichen, menschlich-gesellschaftlichen, historischen Praxis. Vom grundsätzlich anderen Standpunkt des historischen Materialismus trifft die bereits früher geäußerte Kritik am so genannten *kritischen Realismus* bis in Einzelheiten auch auf die des hypothetischen Realismus zu.[51]

Es ist deshalb nicht sehr plausibel zu meinen, die „Evolutionäre Erkenntnistheorie“ vertrete ein „materialistisches Anliegen“.[52] Soweit sie *Philosophie* betreibt, akzeptiert sie potenziell objektiv-idealistische Positionen. Ihre Differenz zum kritischen Realismus liegt nicht in der Grundhaltung, sondern darin, dass die Kritik auf neue, nämlich *evolutionäre* Weise begründet, nicht aber darin, dass zum Materialismus vorgestoßen wird. Soweit sie allerdings *Naturwissenschaft* betreibt, folgt sie einem *methodischen Materialismus* und, was vielleicht noch wesentlicher ist, einem Zwang zur *methodischen Dialektik*.[53]

Die Ansätze von K. Lorenz, G. Vollmer, E. Riedl und E. Oeser sind sicher die weitreichendsten und für weiterführende philosophische Verallgemeinerungen ergiebigsten; auf sie wollen wir kurz eingehen. Natürlich lassen sich die oft recht umfangreichen Theoriengebäude nur in Umrissen skizzieren.

K. Lorenz setzt 1941 mit seinem Artikel „Kants Lehre vom Apriorischen im Lichte gegenwärtiger Biologie“[54] den Startpunkt für die „Evolutionäre Erkenntnistheorie“. In seinem populären Buch „Die Rückseite des Spiegels“[55] hat er seine einzelwissenschaftlichen Erkenntnisse und philosophischen Anschauungen in gewisser Weise zusammengefasst. „Leben selbst ist ein erkenntnisgewinnender Prozess“[56] heißt seine

50 Ebenda, S. 34.
51 Vgl. K.-F. Wessel, Kritischer Realismus und dialektischer Materialismus, Berlin 1971, S. 37 ff.
52 Vgl. K. Kannegießer/K. Ueberschär, Zur Theorien- und Methodenentwicklung in den Naturwissenschaften, in: DZfPh, 6/1985, S. 517.
53 Vgl. H. Hörz, Werner Heisenberg und die Philosophie, Berlin 1966, S. 191.
[Siehe auch: http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/philosophie.html]
54 K. Lorenz, Kants Lehre vom Apriorischen im Lichte gegenwärtiger Biologie, a. a. O.
55 K. Lorenz, Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens, München 1973.
56 K. Lorenz, Knowledge, Reliefs and Freedom, in: P. Weiß (Hrsg.), Hierarchically Organized Systems in Theory and Practice, New York 1971.

von Campbell übernommene Hauptthese. Der Erkenntnisbegriff ist hier mehrdeutig benutzt. Er enthält zumindest die Hinweise auf genetisch akkumulierte strukturelle Information (das „sonnenhafte" Auge, die dem Wasser angepasste Schwimmflosse der Fische) sowie auf die Mechanismen aktueller Informationsgewinnung (festgelegte und offene Verhaltensmuster). Besonders wichtig erscheinen an seiner Theorie folgende Momente: (a) Sie zeigt, dass der *Mangel des Kantschen Apriorismus*, der Denkvoraussetzungen und Denkprozesse unvermittelt gegeneinanderstellt, nur in historisch-entwicklungsmäßiger Sicht auf die „Passung" zwischen Denkformen und Wirklichkeit überwunden werden kann; dabei betrachtet er aber im wesentlichen nur Verhaltensanpassung und Lernen im biotischen Bereich, nicht historisch-gesellschaftliche Entwicklungsprozesse und menschheitliches Lernen. (b) Seine Theorie akzentuiert damit den einzelwissenschaftlich-materialistischen Grundgedanken von der *materiellen Gewordenheit* des *Verstands* (mit der Vorbedingung eines „ratiomorphen Apparats") und der *Vernunft* (als „Weltbildapparat"). (c) Sie setzt so, entgegen vielen antimarxistischen Polemiken, den *Widerspiegelungsbegriff* in seine legitimen Rechte ein. (d) Sie verfolgt die *Entstehung* je qualitativ neuer „Schichten" bestimmter *Verhaltensleistungen* und mit ihnen gekoppelter *Verarbeitungsleistungen*. (e) Schließlich gewinnt Lorenz' Theorie durch die Adaption der *Schichtenlehre N. Hartmanns* eine in mancher Hinsicht verblüffende Nähe zu dialektisch-materialistischen philosophischen Vorstellungen; so entspricht seine Vorstellung von einer „Schichtung der Welt" etwa der Annahme qualitativ unterschiedener materieller Strukturniveaus. Die Vorstellung von einer Entwicklung durch „*Fulguration*"[57] beinhaltet die Entstehung von qualitativ Neuem durch dialektische Sprünge.

G. Vollmer ordnet die „Evolutionäre Erkenntnistheorie" in seinem gleichnamigen Buch in das philosophiehistorische Umfeld ein. Neben der systematischen Darlegung aller Aspekte moderner Evolutionstheorien, die sich zum Verständnis der Evolution des Erkenntnisapparats als notwendig erweisen, sind folgende wichtige Gesichtspunkte seiner Theorie hervorzuheben: (a) Man kann das Verhältnis von Realität und Erkenntnis am Modell der graphischen Projektion illustrieren. Seine „projektive Erkenntnistheorie", die durch eine entsprechende Rekonstruktionstheorie ergänzt wird, stellt zumindest für den Bereich von individueller Wahrnehmung und Erfahrung eine quasi-materialistische Widerspiegelungstheorie dar. (b) Er macht den Versuch einer Erklärung der Notwendigkeit und Möglichkeit objektiver Erkenntnis. Sie wird als partielle Isomorphie zwischen Strukturen der Wahrnehmung, der Erfahrung, des Schließens der wissenschaftlichen Erkenntnis und realen Strukturen gedeutet.[58] Im Erkenntnisprozess findet eine „Ent-

57 Lat.: Blitz; plötzliche Entstehen neuer Eigenschaften in einem komplexen System, die nicht aus den Eigenschaften der einzelnen Elemente des Systems vorhergesagt werden können

58 Vgl. G. Vollmer, Evolutionäre Erkenntnistheorie, a. a. O., S. 119. Vollmer polemisiert zwar gegen die *Metapher* von Abbild und Widerspiegelung bei K. Lorenz (in: K. Lorenz/F. M. Wuketits, Die Evolution des Denkens, a. a. O. S. 31 f.) – aber mit ähnlichen Argumenten, welche die

anthropomorphisierung unseres Weltbildes“ statt[59]. (c) Schließlich weist er darauf hin, dass die Erfahrungen und darauf aufbauende Erkenntnisse zunächst nur in einer Welt „mittlerer Dimensionen“ in einem „Mesokosmos“[60] gelten – in jenem Ausschnitt der realen Welt, den wir wahrnehmend und handelnd, sensorisch und motorisch bewältigen. Gerade diese mesokosmische Erkenntnis wird durch die „Evolutionäre Erkenntnistheorie“ beschrieben. Aber natürlich umfasst menschliche, z. B. wissenschaftliche Erkenntnis weit mehr.[61]

R. Riedl nimmt, anders als Lorenz, zum Ausgangspunkt seiner Überlegungen nicht die Evolution des Verhaltens, sondern die der *Formen*, der *anatomischen Strukturen*. Dabei stellt er fest, dass sich die „Ordnung des Lebendigen“ als *Selbstordnung* im Sinne der *Selbstorganisation* konstituiert, dass es folglich keine „prästabilierte“, sondern nur eine „poststabilisierte“ Harmonie geben kann. Als grundlegende Ordnungsmuster des Organischen bestimmt er: *Norm* (Klassen- und Standardbildung von organischen Strukturen und Ereignissen); *Hierarchie* (Unter- oder Überordnung von organischen Strukturen und Ereignissen); *Interdependenz* (Verknüpfung innerhalb gleichrangiger organischer Strukturen und Ereignisse); *Tradierung* (identische zeitliche Aufeinanderfolge von organischen Strukturen und Ereignissen)[62]. Diese Ordnungsmuster sind sowohl auf die Real-Ordnung des Organischen wie auf die Denk-Ordnung bezogen: Wir vermögen ohne die Vorstellungen von Norm, Hierarchie, Interpendenz, Tradierung nicht zu denken. Sie führen vielmehr zu „ratiomorphen Vorbedingungen“ vernünftigen Handelns, die Riedl in vier Hypothesen zusammenfasst: (a) die *Hypothese vom anscheinend Wahren* (Erfolgreiches wird wieder erfolgreich sein, identische Replikation des Bewährten, die der Tradierung entspricht); (b) die *Hypothese vom Ver-Gleichbaren* (das Ungleiche in Ähnlichem wird vernachlässigt, dies entspricht der Klassenbildung, also der Norm); (c) die *Hypothese von den Ur-Sachen* (Koinzidenz gleicher Zustände und Ereignisse, dies entspricht der – vernetzt kausalen – Verknüpfung, also der Interdependenz); (d) die *Hypothese vom Zweckvollen* (ähnliche Systeme treten als Unterfunktionen desselben Obersystems auf, dies entspricht der Hierarchie).[63] Diese Hypothesen werden als *relative Aprioris der Erkenntnis* – im Sinne von *Aposterioris der Evolution* – aufgefasst. Daran anknüpfend entwickelt Riedl eigene originelle Gedanken zum objektiven Zufall und zur statistischen Determination,

marxistisch-leninistische Widerspiegelungstheorie gegen eine passive, mechanische Vorstellung von der Widerspiegelung benutzt.

59 Ebenda, S. 165 ff.

60 Gegenstandsbereich für den Menschen anschaulich erfassbarer Objekte; Zwischenbereich zwischen Mikrokosmos und Makrokosmos

61 Vgl. G. Vollmer, Visokosmos und objektive Erkenntnis. Über Probleme, die von der evolutionären Erkenntnistheorie gelöst werden, in: K. Lorenz/F. M. Wuketits, Die Evolution des Denkens, a. a. O., S. 51 ff.

62 Vgl. R. Riedl, Die Ordnung des Lebendigen. Systembedingungen der Evolution, Hamburg – Berlin (West) 1975.

63 Vgl. R. Riedl, Biologie der Erkenntnis, Berlin (West) – Hamburg 1980.

zu den Mechanismen von Invariantenbildung und Widerspiegelung des Netzwerkes der Kausalität, zum Zweckbegriff und den verschiedenen an Aristoteles angelehnten Ursachen-Begriffen wie schließlich zum Verständnis hermeneutischer Prozesse.[64]

E. Oeser schließlich kommt, im Gegensatz zu Lorenz, Vollmer und Riedl, nicht von biologisch-evolutionistischen Betrachtungen her, sondern von der Behandlung von Wissenschafts-, insbesondere Informationsentwicklung. Er nutzt die „Evolutionäre Erkenntnistheorie" als Heuristik bei der Beschreibung von Prozessen der Wissens- und Informationsgewinnung. Das erweist sich als durchaus fruchtbar. Sein „*systemtheoretisches Funktionsmodell der Wissenschaftsentwicklung*" erfasst in anschaulicher Weise die Dialektik von Induktion, Konstruktion, Deduktion und Reduktion innerhalb der Wissenschaftsentwicklung.[65]

Die marxistische Kritik an diesen und weiteren Ansätzen der „Evolutionären Erkenntnistheorie" lässt sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

Erstens ist auf den potentiell objektiv-idealistischen Freiraum des der „Evolutionären Erkenntnistheorie" zugrunde liegenden „hypothetischen Realismus" hinzuweisen.

Zweitens ergibt sich, davon ausgehend, eine teils indirekt, teils direkt geäußerte Ablehnung des „Materialismus", der fälschlich mit dem mechanischen Materialismus gleichgesetzt wird.

Drittens kommt es dadurch zur Beschränkung des methodisch materialistischen Herangehens auf dem naturwissenschaftlichen Bereich; historischer Materialismus ist vom realistischen Ausgangspunkt her nicht zu begreifen. Dies zieht vielfältige Formen von Reduktionismus, insbesondere Biologismus nach sich.

Viertens führt das zu einem Aussparen aller, selbst verwandter Gedankengänge von Marx, Engels und Lenin[66] wie auch neuerer marxistischer Autoren. Stattdessen werden fragwürdige gesellschaftskritische Allgemeinplätze formuliert.

Fünftens böte die Überzeugung von der Existenz materieller Strukturniveaus (Schichten) durchaus Gelegenheit, die wirkliche Evolution der Erkenntnis, von ihren biotischen Vorformen bis zu ihren historisch-gesellschaftlichen Formen, nachzuzeichnen. Da aber letzterer nicht in ihrer neuen, eben gesellschaftlichen Qualität begriffen werden, da der Bezug zu Werkzeuggebrauch, Arbeit, Produktion, Praxis nahezu gänzlich fehlt, können beispielsweise Wissenschafts- und Kunstentwicklung nur über – teilweise recht formale – Analogien erfasst werden, eine tiefere Gesetzeserkenntnis ist auf diesem Wege kaum möglich.[67]

64 Vgl. R. Riedl, Die Spaltung des Weltbildes. Biologische Grundlagen des Erklärens und Verstehens Berlin (West) – Hamburg 1985.

65 Vgl. E. Oeser, Wissenschaft und Information, bes. Bd. 2 und 3, Wien – München 1976; eine ausführliche Rez. dazu von J. Erpenbeck/H. Laitko, in: DZfPh, 2/1981, S. 255 ff.

66 Vgl. F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26 a. a. O., S. 491 und 592.

67 Vgl. dagegen die wesentliche tiefer lotende marxistische Arbeit von F. Klix: ders., Erwachendes

Jedoch hat die „Evolutionäre Erkenntnistheorie“ überall dort, wo sie einzelwissenschaftliches Material präsentiert und philosophisch ohne Vorurteil interpretiert, auch für die philosophischen Verallgemeinerungen der marxistisch-leninistischen Erkenntnistheorie Bedeutung. Sie enthält dialektische Denkfiguren in Fülle: zur *objektiven Dialektik* (hierarchischer Schichtenbau der Welt, Systemhaftigkeit, Existenz von Fulgurationen, vernetzt-kausale Determination), zur *Dialektik des Erkenntnisprozesses* (Evolution des Erkenntnis- und Wertungsvermögens, daraus resultierende qualitative Stufen von Erkenntnis und Wertung) und zur *Dialektik der Erkenntnisresultate* (Beiträge zum Verständnis von Begriffsbildung und -veränderung, Wissenschafts- und Theorienentwicklung).[68] Sie liefert wertvolle Beiträge zum vertieften Verständnis menschlicher Anschauungsgrenzen (nicht Erkenntnisgrenzen!) und zu einer Theorie relativer Apriori, wie sie ähnlich auch von Marxisten formuliert wird.[69]

Unsere Analyse der „Evolutionären Erkenntnistheorie“ hat also zugleich den Umriß einer dialektisch- und historisch-materialistischen Behandlung der *biotischen* Voraussetzungen menschlicher Erkenntnis, die Naturerkenntnis eingeschlossen, gegeben. Biologen und Psychologen haben dazu bereits wichtige einzelwissenschaftliche Beiträge geliefert.[70] Sicher sind hier in nächster Zeit noch viele wichtige Ergebnisse zu erwarten.

Aber über die spezifisch *menschlichen* Wesenskräfte, die im Prozess der Naturerkenntnis als einem wichtigen Teil des gesamten Produktions- und Reproduktionsprozesses angeeignet und vergegenständlicht werden, ist damit nur wenig gesagt. Deshalb sei hier an ein marxistisches Forschungsprogramm erinnert, das den Menschen als *biopsychosoziale Einheit* auffasst und beschreibt.[71] Damit ist auch die Erforschung der psychischen und der sozialen Voraussetzungen der Naturerkenntnis eingefordert. Diese lassen sich weiter untergliedern und vervollständigen.

Um sie von einem *systematischen* Grundgedanken aus zu erfassen, wollen wir nochmals zu der Feststellung zurückkehren, dass jede Erkenntnis, darunter die Naturerkenntnis, ein Moment menschlicher Kultur darstellt. Wissenschaftsentwicklung

Denken, Berlin 1980.

68 Vgl. dazu: J. Erpenbeck, Das Ganze denken.Zur Dialektik menschlicher Bewußtseinsstrukturen und Prozesse, Berlin 1985.

69 Vgl. G. Klaus, Kybernetik und Erkenntnistheorie, Berlin 1972 (5. Aufl.).

70 Nochmals sei auf F. Klix, Erwachendes Denkens, a. a. O., verwiesen; ferner auf: G. Tembrock, Grundlagen der Tierpsychologie, Berlin – Oxford – Braunschweig 1971; ders., Biokommunikation, Teil 1 und 2, Berlin – Oxford – Braunschweig 1971; ders. (Hrsg.), Forschungen zu stammesgeschichtlichen Verhaltensanpassungen beim Menschen und aktuelle Probleme der Soziologie, in: Ztschr. f. Psychol., Suppl. 4, Leipzig 1982.

71 Vgl. dazu: die Diskussion in der DZfPh, 2-3/1975; Biopsychosoziale Einheit Mensch, in: Wiss. Zeitsch. der HU Berlin, Math.-naturwiss Reihe, 7/1987; K.-F. Wessel, Der Mensch als biopsychosoziale Einheit, in: DZfPh, 2/1988, S. 97-106.

ist ein Teil der Kulturentwicklung. Erkenntnisentwicklung ist Teil der Wissenschaftsentwicklung. Deshalb sind wesentliche Determinanten der Kulturentwicklung auch Determinanten der Wissenschaftsentwicklung – das wurde besonders bei der Behandlung des Zusammenhangs der Marxschen Kulturstufen mit den Wissenschaftstypen deutlich. Determinanten der Wissenschaftsentwicklung sind immer auch Determinanten der Wissens-, der Erkenntnisentwicklung im engeren Sinne. Mit der Erfassung der wichtigsten individuell-psychischen und historisch-gesellschaftlichen *Determinanten der Wissenschaftsentwicklung* erfassen wir also zugleich die wichtigsten Voraussetzungen wissenschaftlicher Erkenntnis, insbesondere der Naturerkenntnis.

Wissenschaftliches Erkennen als spezifische Subjekt-Objekt-Beziehung (nämlich des zu erkennenden natürlichen oder historisch gesellschaftlichen Gegenstandes und des historisch-ökonomisch geprägten, individuellen oder gesellschaftlichen Erkenntnissubjekts) ist *doppelt*, nämlich *objektseitig* („gegenständlich") und *subjektseitig* („sozial-ökonomisch") *determiniert*[72]. Untersucht man das Determinationsgefüge jedoch genauer, muss man von einer *Polydetermination* aller Erkenntnisprozesse zumindest durch das *Objekt* (ideeller oder materieller Gegenstand), das *Subjekt* (Individuen, Gruppen), durch die *Prozessformen* (Tätigkeit, Arbeit) sowie durch frühere ideelle (Resultate) und materielle *Ergebnisse* (Vergegenständlichungen) ausgehen. Im einzelnen, kann man unterscheiden:

(a) *Gegenstandsdetermination* – Einfluss der materiellen Bewegungsform des Untersuchungsgegenstandes (abiotisch, biotisch, sozial), seines Subjektverhaltens (Natur- vs. Gesellschafts- und Kulturabhängigkeit), seines Abhängigseins von Wertungen (z. B. ethisch-moralischen, politisch-ideologischen), seiner Komplexität, seiner Materialität bzw. Idealität (Gegenstände von Mathematik, Logik usw.) auf die wissenschaftliche Erkenntnis;

(b) *Resultatdetermination* – Einfluss bereits existierender Erkenntnisresultate (Theoriendynamik, innertheoretische Zusammenhänge, metatheoretische Überlegungen, einzelwissenschaftliche Reduktionen und Reduktionsbegründungen, wissenschaftsleitende Wertungen) auf die wissenschaftliche Erkenntnis;

(c) *Individuendetermination* – Einfluss der konkreten Wissenschaftlerpersönlichkeit (Kreativität und Schöpfertum, Rolle von Emotionen und Motivationen, Normen, Wertungen, Intelligenz, Wissen, Kritik- und Entscheidungsfähigkeit, persönliche Stabilität und Flexibilität) auf die wissenschaftliche Erkenntnis;

(d) *Gruppendetermination* – Einfluss der Parameter sozialer Gruppen, vom Forscherkollektiv bis zur Gesamtheit der Wissenschaftler eines oder mehrerer Länder (Normen, Werte, Motive des Forscherverhaltens, soziale Wertungsstrukturen, Gruppenstrukturen, Zielstrukturen, Konsenskriterien, Kritik-, Dialog-, Polemikfähigkeit) auf die wissenschaftliche Erkenntnis;

(e) *Arbeitsdetermination* – Einfluss des Gesamtzusammenhangs von Arbeit, Pro-

72 Vgl. K. Gößler/M. Thom, Die materielle Determiniertheit der Erkenntnis, Berlin 1976.

duktion, Praxis (Wissenschaft als „allgemeine Arbeit", Kette: Wissenschaft – Technik – Produktion, Wirkungen von Planungen, Programmen, Zielvorgaben, Bedeutung von Entscheidung und Risiko, Faktoren der Vor- und vor allem Ver-Wertung der Resultate, letztlich Einfluss des Gesamtverhältnisses Produktivkräfte/Produktionsverhältnisse) auf die wissenschaftliche Erkenntnis;

(f) *Vergegenständlichungsdetermination* – Einfluss bereits früher gewonnener und materialisierter Resultate wissenschaftlicher Erkenntnisse (technische Geräte, experimentelle Anordnungen, technisches Niveau der Produktion, ferner Formen der Organisation und der Institutionen des Forschungsbetriebs, Management) auf aktuelle wissenschaftliche Erkenntnis.

Diese Zusammenfassung der für die Erkenntnis, auch die Naturerkenntnis, wesentlichen Voraussetzungen in Form der entscheidenden Determinationsebenen und Determinationsfaktoren, gegründet auf zahlreiche von Wissenschaftlern und Philosophen erarbeitete Forschungsergebnisse, ist selbst ein *Forschungsprogramm.*[73]

Erst nachdem man sich dieser generellen Determinanten vergewissert hat, kann man ihre Spezifik im Rahmen der Naturerkenntnis herausarbeiten. Dabei ist klar, dass sich die Determinationsebenen (b), (c), (d), (e) und (f) möglicherweise graduell, aber nicht prinzipiell bei Naturerkenntnis und Gesellschaftserkenntnis unterscheiden. Da wir für Resultate zumindest im Prinzip die gleiche „Entsubjektivierung", „Desanthropomorphisierung" oder „Wertungsfreiheit" wie für naturwissenschaftliche Ergebnisse fordern, andererseits diese wie jene von Vor- und Ver-Wertungen im Erkenntnisprozess maßgeblich beeinflusst werden, ist der eigentliche Ort der qualitativen Differenzen, der qualitativ unterschiedlichen Voraussetzungen von Gesellschafts- und Naturerkenntnis die Ebene der Gegenstandsdetermination (a) selbst. Die spezifischen materiellen Bewegungsformen bzw. materiellen Strukturniveaus (z. B. Elementarteilchen, Atome, Moleküle, Biomoleküle, Zellstrukturen, Zellen, Gewebe, Organe, Organismen, Biotope, Biosphäre, Planeten, Sonnensysteme, Galaxien, Kosmos)[74], das Nichtvorkommen menschlicher Subjekte und ihrer historisch-gesellschaftlichen Wertungen im Untersuchungsgegenstand machen den eigentlichen Unterschied in den Erkenntnisvoraussetzungen aus.

Ausgehend von den hier im Rahmen vorläufiger Begriffserklärungen eingebrachten Erkenntnissen über die Voraussetzungen begrifflicher Naturerkenntnis, ist nunmehr die Dialektik der Naturerkenntnis auf der Ebene der in den Naturwissenschaften angewendeten Prinzipien und Methoden zu untersuchen.

73 Vgl. J. Erpenbeck, Determinanten der Wissenschaftsentwicklung (DWE) – ein Forschungsprogramm, in: DZfPh, 1/1986, S. 22 ff.; G. Banse/J. Erpenbeck/M.-L. Körner, Determinanten der Wissenschaftsentwicklung (Literaturbericht) in: DZfPh, 10/1986, S. 928 ff.
74 Vgl. R. Riedl, Über die Biologie des Ursachen-Denkers – ein evolutionistischer, systemtheoretischer Versuch, Mannheim 1979, S. 51.

2. Prinzipien der Naturerkenntnis

Natur und Kultur bilden zusammen eine unendliche und unerschöpfliche, strukturierte und dialektisch determinierte, sich qualitativ und quantitativ entwickelnde *Totalität von Prozessen und Produkten*: die Gesamtheit alles materiell und ideell Existierenden, das Sein. In der Geschichte der Philosophie wurde verschiedentlich die *Einheit des Seins* in ihrer Totalität als Ausgangspunkt wissenschaftlichen Erkennens bestimmt. Alle derartigen Versuche sahen und sehen sich mit Schwierigkeiten konfrontiert, auf die schon F. Engels hingewiesen hat: „Wenn wir vom *Sein* sprechen, und *bloß* vom Sein, so kann die Einheit nur darin bestehen, daß alle die Gegenstände, um die es sich handelt – *sind*, existieren. In der Einheit dieses Seins, und in keiner andern, sind sie zusammengefaßt und der gemeinsame Ausspruch, daß sie alle *sind*, kann ihnen nicht nur keine weiteren, gemeinsamen oder nicht gemeinsamen, Eigenschaften geben, sondern schließt alle solche von der Betrachtung vorläufig aus. Denn sowie wir uns von der einfachen Grundtatsache, daß allen diesen Dingen das Sein gemeinsam zukommt, auch nur einen Millimeter breit entfernen, so fangen die *Unterschiede* dieser Dinge an, vor unsern Blick zu treten – und ob diese Unterschiede darin bestehn, daß die einen weiß, die andern schwarz, die einen belebt, die andern unbelebt, die einen etwa diesseitig, die andern etwa jenseitig sind, das können wir nicht daraus entscheiden, daß ihnen allen gleichmäßig die bloße Existenz zugeschrieben wird.

Die Einheit der Welt besteht nicht in ihrem Sein, obwohl ihr Sein eine Voraussetzung ihrer Einheit ist, da sie doch zuerst *sein* muß, ehe sie *eins* sein kann. Das Sein ist ja überhaupt eine offene Frage von der Grenze an, wo unser Gesichtskreis aufhört. Die wirkliche Einheit der Welt besteht in ihrer Materialität, und diese ist bewiesen nicht durch ein paar Taschenspielerphrasen, sondern durch eine lange und langwierige Entwicklung der Philosophie und der Naturwissenschaft.“[75]

Wir haben dieses selten in seiner ganzen Länge widergegebene Zitat hier aufgenommen, weil es eine äußerst interessante Argumentationsstruktur besitzt.

Erstens wird keineswegs bestritten, dass es so etwas wie „das Seiende“ gibt, dass man es an den Ausgangspunkt von Betrachtungen setzen kann. Nur ist damit wenig gewonnen. Will man darüber sinnvoll philosophisch-wissenschaftlich sprechen, muss man Unterschiede in diesem Seienden feststellen und das heißt auf zumindest zwei, *Teiltotalitäten* bezeichnende Kategorien übergehen, die das Seiende gleichsam „zerlegen“ und sich dennoch reflexiv aufeinander beziehen.

Zweitens mengen sich in solche Betrachtungen sofort erkenntnistheoretische Gedankengänge ein. Jede „Zerlegung“ setzt umfangreiches Erkennen und Handeln innerhalb des Seienden bereits voraus. Sie wird zudem stets in der Absicht, zu erkennen, vorgenommen. Folglich kann es *keine von der Erkenntnistheorie isolierte Theorie des*

75 F. Engels, Herrn Eugen Umwälzung der Wissenschaft („Anti-Dühring“), in; MEW, Bd. 20, Berlin 1983, S. 40/41.

Seienden, *keine Ontologie* als bloße Theorie vom Sein des Seienden, oder vom Verhältnis der verschiedenen Seinsweisen zueinander geben.[76]

Drittens wird die Engelssche Einsicht durch moderne, einzelwissenschaftlich gestützte Untersuchungen zur *Materiestruktur*[77] ebenso bestätigt wie durch neuere logische Analysen des *Existenzprädikats*[78], die nachweisen, dass eine Subsumtion aller Arten von Existenzweisen – realer Existenz, idealer Existenz, logischer Existenz, mathematischer Existenz, mythologischer Existenz, literarischer Existenz, religiöser Existenz usw. – unter „das" Sein sinnlos ist, das man vielmehr zumindest von den zwei grundlegenden Arten realer und nichtrealer Existenz ausgehen muss, was wiederum auf die Grundfrage der Philosophie führt. Zugleich wird dabei deutlich, dass eben nur umfangreiche erkenntnistheoretisch-logische Analysen Zugang zum Problem gewähren. Schließlich ist auch auf informationstheoretische Überlegungen hinzuweisen, wonach *System und Information* sich gegenseitig dialektisch bedingen, Systeme im allgemeinsten philosophischen Sinne aber immer durch Identität *und* Unterschied konstituiert werden, was heißt: Über ein „System", worin nicht Identitäten und Unterschiede auszugrenzen sind, lässt sich prinzipiell keine Information gewinnen. Das Sein stellt aber gerade ein solches „System" dar.[79]

Je nach ontologisch-erkenntnistheoretischer Zielsetzung sind nun verschiedene „Zerlegungen" der Totalität des Seienden, des Seins möglich. Sie schließen einander nicht aus, sondern hängen selbst eng miteinander zusammen. Ergebnis solcher „Zerlegungen" sind reflexiv zueinander definierte Kategorien. Dabei wollen wir unter *Reflexivdefinitionen* definitionsartige Begriffserklärungen verstehen, die folgende Eigenschaften haben:

(I) in ihnen werden Kategorien, die Teiltotalitäten einer Gesamttotalität bezeichnen, wechselseitig, „reflexiv" durcheinander erklärt (etwa: Materie durch Bewusstsein, Bewusstsein durch Materie);

(II) sie sind keine echten Definitionen im Sinne der logischen Definitionstheorie oder auch anderer spezifizierter Definitionsarten[80];

76 Dies wird auch in der nichtmarxistischen Philosophie von vielen Autoren betont. Vgl. H. Krings/H.-M. Baumgartner/Ch. Wild (Hrsg.), Handbuch philosophischer Grundbegriffe, München 1973, S. 39 f.

77 Vgl. H. Hörz, Materiestruktur Berlin 1971, S. 81 ff. Hörz stellt dort u. a. fest: „Sicher ergeben sich für den Materialismus aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen neue zu lösende Probleme ... dennoch gibt es kein Anzeichen dafür, daß die endlich geschaffene Verschmelzung von Ontologie und Gnoseologie zugunsten der Ontologie aufgehoben werden müßte".

78 Ausführlich dazu: E. Dölling, Logik und Sprache. Untersuchungen zum Gebrauch des Existenzprädikats, Berlin 1986, insbesondere S. 107 ff.

79 Vgl. dazu P. Franz, System und Information unter besonderer Berücksichtigung des Zusammenhangs beider Kategorien sowie der Dialektik von Unterschied und Identität (Diss. A), Berlin 1970; vgl. auch H. Völz, Information, Bd. 1, Berlin 1982, S 2 f.

80 Vgl. J. Erpenbeck, Stichwort „Definition" ... in: H. Hörz/H. Liebscher/R. Löther/S. Wollgast, Wörterbuch Philosophie und Naturwissenschaften, Berlin 1983, S. 157.

(III) dies sind sie schon deshalb nicht, weil die Extensionen und Intensionen der entsprechenden Kategorien, da auf Totalitäten bezogen, unbestimmt sind;

(IV) dennoch sind sie unumgängliche Voraussetzungen philosophischen Denkens, welches bis zu den letzten denkmöglichen Kategorien vorstößt und vorstoßen muss;

(V) zugleich markieren diese Kategorien einen Prinzipienrahmen, in dem sich wissenschaftliches, insbesondere naturwissenschaftliches Denken bewegen muss (Materialismusprinzip, Widerspiegelungsprinzip, Wahrheitsprinzip, Prinzip der dialektischen Einheit von Logischem und Historischem u. a.).

Bevor wir auf diese „Zerlegungen" in einigen ihrer für die Dialektik der Naturerkenntnis wichtigsten Aspekte eingehen, sind hier zunächst ein paar allgemeinere philosophische Bemerkungen erforderlich.

1. Als Ergebnis jahrhundertelangen einzelwissenschaftlichen und philosophischen Denkens, als Konsequenz der Beobachtung, dass die Gesamtheit der *Resultate* menschlicher Widerspiegelung einen eigenen Bereich des Ideellen bildet, der sich dem der objektiven Realität, die widergespiegelt wird, absolut gegenüberstellen lässt, entsteht die erkenntnistheoretische Grundfrage nach dem Primat von *Materie* oder *Bewusstsein*. Sie setzt theoretische Abstraktionen höchsten Allgemeinheitsgrades voraus, die gerade von dem realen Wechselverhältnis materieller Strukturen und Prozesse und von Bewusstseinsstrukturen und -prozessen abstrahieren.[81]

Die Grundfrage „zerlegt" also die Totalität des Seins in die Totalität der objektiven Realität (in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft) und die Totalität aller (vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen) menschlichen Widerspiegelungsresultate und gibt eine Antwort auf das Verhältnis beider. „Es ist aber völlig unzulässig, die Lehre von dieser oder jener Struktur der Materie mit einer erkenntnistheoretischen Kategorie zu verwechseln, die Frage nach den neuen Eigenschaften, den neuen Arten der Materie ... mit der alten Frage der Erkenntnistheorie, der Frage nach den Quellen unseres Wissens, nach der Existenz der objektiven Wahrheit u. dgl. m. zu verwechseln."[82]

Jeder Naturwissenschaftler denkt im Rahmen einer – idealistischen, dualistischen oder materialistischen – erkenntnistheoretischen Beantwortung der Grundfrage. In seiner konkreten Arbeit kann – und muss – er, will er erfolgreich sein, zumindest methodisch von der Existenz objektiver Realität und ihrer wie auch immer gearteten Abbildung in Begriffen, Aussagen, Theorien ausgehen und dies keineswegs „spontan", sondern methodisch bewusst – denn ihm muss ja an jedem Punkt seiner Untersuchung wichtig sein, wieweit seine Theorien lediglich gedanklicher Entwurf sind oder Dinge, Eigenschaften, Relationen, Prozesse der objektiven Realität wirklich abbilden, auch wenn diese Frage, beispielsweise bei modernen physikalischen Theorien, oft schwer zu

81 Vgl. W. I. Lenin, Materialismus und Empiriokritizismus, in: Werke, Bd. 14, Berlin 1962, besonders S. 124; daran anknüpfend auch: A. Kosing, Die Grundfrage der Philosophie, Berlin 1974; J. Erpenbeck, Das Ganze denken, Berlin 1986, S. 18 ff.

82 W. I. Lenin, Materialismus und Empiriokritizismus, in: Werke, Bd. 14, a. a. O., S. 124.

beantworten ist. Von spontanem Materialismus der Naturforscher zu reden, halten wir deshalb für äußerst unzweckmäßig. Es handelt sich vielmehr um einen *methodischen* Materialismus. Ein philosophisch begründeter, zumindest aber ein methodischer *Materialismus* ist das *oberste Prinzip* der Naturerkenntnis.

2. Eine weitere „Zerlegung" der Totalität des Seienden ist die in *Widergespiegeltes* (als die „Gegenstände") und *Widerspiegelungsresultate* (als „Abbilder") verbunden durch Widerspiegelungsprozesse. Anknüpfend an Lenins geniale materialistische Umdeutung des Hylozoismus, wonach das Widerspiegelungsvermögen eine allgemeine Eigenschaft der Materie ist, wird es möglich, strukturelle und prozessuale Asymmetrien innerhalb der Gesamtheit aller materiellen Wechselwirkungsprozesse genetisch zu ordnen und insbesondere die Qualitätssprünge beim Übergang zur biotischen Widerspiegelung (einfache Repräsentation) und schließlich zur menschlichen Widerspiegelung (doppelte Repräsentation) herauszuarbeiten. Die zentrale Feststellung, dass bestimmte materielle Dinge, Eigenschaften, Relationen und Prozesse (physiologische Veränderungen, neuronale Verbindungen, lautsprachliche und schriftsprachliche Zeichen und Symbole, sekundäre Vergegenständlichungen von Gedanken und Theorien, Institutionen usw.) als „Abbilder" einen nicht notwendig eindeutigen, aber reproduzierbaren Bezug zu materiellen oder ideellen „Gegenständen" haben, stellvertretend für diese stehen („Stellvertretungsprinzipien") ist damit als *Widerspiegelungsprinzip* ebenfalls ein fundamentales Prinzip jeder Naturerkenntnis.

3. Die bisherigen „Zerlegungen" berücksichtigen die Abbildung in ihrer resultativen (Materialismusprinzip) oder prozessualen Form (Widerspiegelungsprinzip), aber nicht als *Abbildungen* durch individuelle oder kollektive menschliche *Subjekte* (Individuum, Gruppe, Schicht, Klasse, Nation, Volk usw.) und ihre *Aktivitäten*: Erkennen, Werten und Handeln. Dies ist weniger in bezug auf die Naturerkenntnis selbst, als auf die Analyse dieses Erkenntnisprozesses, der Erkenntnis- und Wissenschaftsentwicklung, unumgänglich notwendig. Eine solche „Zerlegung" fasst das Subjekt der Erkenntnis als den aktiv erkennenden Menschen in seiner Einheit von Materie und Bewusstsein, als Ensemble gesellschaftlicher Verhältnisse, das Objekt als alles, was außerhalb und unabhängig vom aktiv erkennenden Subjekt existiert und Gegenstand seiner Tätigkeit ist; es gibt demnach materielle und ideelle Objekte der Erkenntnis. Damit ist die „Zerlegung" Materie – Bewusstsein auf keinen Fall mit der von Objekt – Subjekt gleichzusetzen! Insofern jeder Naturwissenschaftler eine „Entsubjektivierung" seiner Resultate, eine möglichst wertungsfreie Erkenntnis der objektiven Realität anstrebt, kommt in seiner Arbeit diese „Zerlegung" als *Objektivitätsprinzip* zum Tragen. Um die Objektivität der Erkenntnis zu sichern, ist die Subjekt-Objekt-Dialektik mit ihren vermittelnden Bindegliedern auf jeder historischen Stufe der Erkenntnis wieder neu zu durchdenken.

4. Von den für das Widerspiegelungsprinzip und das Objektivitätsprinzip konstitutiven „Zerlegungen" kommt man zu einem weiteren zentralen Prinzip menschlichen Erkennens und insbesondere wissenschaftlicher Tätigkeit. Es geht ja bei der Erkenntnistätigkeit nicht schlechthin um irgendwelche Abbilder, um irgendwelche

Erkenntnisse, Wertungen und Handlungen, sondern um adäquate, die menschliche Existenz quantitativ und qualitativ fortentwickelnde (worin freilich Regression und Stagnation eingeschlossen sind). Es geht um die *Adäquatheit*, das heißt um wahre Erkenntnisse beispielsweise von Aussagen und Theorien, aber auch um adäquate gesellschaftliche Handlungen, Tätigkeiten, Arbeiten. Vereinfachend wollen wir vom *Wahrheitsprinzip* als dem nächsten Grundprinzip der Naturerkenntnis sprechen, wobei wir den Wahrheitsbegriff als Adäquatheitsbegriff verstehen.

5. Auch die weiteren Prinzipien der Naturerkenntnis beziehen sich auf Konkretisierungen der zuvor umrissenen „Zerlegungen" und der Zusammenhänge ihrer Teiltotalitäten. Die allgemeinste Aussage zur immer weiteren Gewinnung, Berichtigung und Verbesserung unserer „Abbilder" wird durch das Prinzip des *Aufsteigens der Erkenntnis vom Abstrakten zum Konkreten* geliefert. Dabei werden aber „Konkretes" – als Einheit des Mannigfaltigen oder der unterschiedlichen Bestimmungen eines Ganzen – und „Abstraktes" – als das einseitige, vom Ganzen isolierte, nur eine bestimmte Seite des Gegenstands erfassende Abbild – im philosophischen, nicht in einem dem Einzelwissenschaftler geläufigen Sinne – gefasst. „Aufsteigen vom Abstrakten zum Konkreten" meint dann eine Stufenfolge der Erkenntnis vom *Sinnlich-Konkreten* (Erkenntnis sinnlich wahrnehmbarer Eigenschaften, Beziehungen usw. von Objekten) über das *Sinnlich-Abstrakte* (Herausheben einzelner Eigenschaften, Seiten, Beziehungen usw. im Erkenntnisprozess und Bildung von Objekt- und Relationsklassen und Benennungen durch Begriffe) sowie über das *Abstrakt-Allgemeine* (Zusammenfassung der Begriffe zu Abstraktionsklassen und Theorien, die einzelne Seiten des Wesens der Objekte hervorheben) bis hin zum *Konkret-Allgemeinen* (Erkenntnis der reichen Totalität von vielen Bestimmungen und Beziehungen, d. h. Erkenntnis gesetzmäßiger Zusammenhänge und Beziehungen der begrifflich gefassten Eigenschaften und Relationen sowie Anwendung in der Praxis) also: bis hin zu „einer reichen Totalität von vielen Bestimmungen und Beziehungen"[83].

„Dieses Aufsteigen vom ungeordneten sinnlich Konkreten zum Abstrakten und von da weiter zur Darstellung des Wirklichen als einer geordneten Mannigfaltigkeit von Bestimmungen ist der Gang jeder wissenschaftlichen Erkenntnis."[84] Der Gang der *naturwissenschaftlichen* Erkenntnis wird in den nachfolgenden Kapiteln exemplarisch für die Physik, die Chemie und die Biologie verfolgt. Dabei werden wir wiederholt auf den dialektischen Zusammenhang von *Logischem* (im Sinne des fertigen Abbilds) und *Historischem* (im Sinne des Prozesses der Schaffung eines Abbilds) stoßen, für den

83 K. Marx, Einleitung zur Kritik der Politischen Ökonomie, in: MEW, Bd. 13, Berlin 1981, S. 631. Für den naturwissenschaftlichen Erkenntnis- und Lehrprozeß hat Dawydov (W. Dawydow, Arten der Verallgemeinerung im Unterricht, Berlin 1977) das „Aufsteigen vom Abstrakten zum Konkreten" detailliert untersucht.

84 Gelhar, Stichwort „Konkretes", in: H. Hörz/H. Liebscher/R. Löther/S. Wollgast, Wörterbuch Philosophie und Naturwissenschaften, a. a. O., S. 457.

das Prinzip des Aufsteigens der Erkenntnis vom Abstrakten zum Konkreten einen theoretischen Rahmen liefert.

Wegen ihrer zentralen Bedeutung für die philosophische reflektierte Naturerkenntnis wollen wir nunmehr auf das Widerspiegelungsprinzip und auf das Wahrheitsprinzip gesondert eingehen. Weitere Prinzipien der Naturerkenntnis werden dann im Zusammenhang mit der Diskussion des konkreten naturwissenschaftlichen Materials behandelt. Dabei wird es auch um philosophische Präzisierungen der allgemeinen philosophischen Aussagen zu den Prinzipien der Naturerkenntnis gehen.

2.1 Widerspiegelung

Im allgemeinsten philosophisch-erkenntnistheoretischen Sinne seien *Widerspiegelung* und *Abbild* folgendermaßen definiert: „‚Abbild' und ‚Abgebildetes' werden als *Eigenschaften* von materiellen oder ideellen Gegebenheiten verstanden. Und zwar kommt einer Gegebenheit *x'* die Eigenschaft, Abbild einer Gegebenheit *x* zu sein, und einer Gegebenheit *x* die Eigenschaft, durch *x'* Abgebildetes zu sein, dann zu, wenn zwischen *x'* und *x* eine Widerspiegelungsbeziehung besteht. Eine Gegebenheit *x'* steht dann in einer Widerspiegelungsbeziehung zu einer Gegebenheit *x* (bzw. *x'* spiegelt *x* dann wider), wenn sich die *Gesamtheit* der folgenden Beziehungen zwischen *x'* und *x* findet:

a) *x'* und *x* sind voneinander verschieden (bzw. *x'* und *x* sind nicht identisch) und
b) *x'* existiert abhängig von *x* und
c) *x* existiert nicht abhängig von *x'* und
d) *x'* stimmt mit *x* überein (bzw. *x'* entspricht *x* bzw. *x'* ist *x* ähnlich bzw. *x'* ist *x* adäquat).

Wenn die Gesamtheit dieser Beziehungen zwischen zwei Gegebenheiten *x'* und *x* besteht, dann besitzt *x'* die Eigenschaft, Abbild von *x* zu sein, und *x* die Eigenschaft, durch *x'* Abgebildetes zu sein ... Der Prozeß, durch den zwischen zwei Gegebenheiten *x* und *x'* eine Widerspiegelungsbeziehung entsteht, hat die Eigenschaft, ein Widerspiegelungsprozeß (bzw. Abbildungsprozeß bzw. eine Widerspiegelung oder eine Abbildung) zu sein."[85]

Die in dieser Begriffsbestimmung eingeführten Symbole *x* und *x'* klammern allerdings das *erkenntnistheoretische* Problem aus. Wir haben nämlich davon auszugehen, dass man sich den *x* immer nur als endliche Folge von *x'* historisch nähern kann. Während also zu jedem Zeitpunkt *bestimmte x'* vorausgesetzt werden dürfen, ist *x* genaugenommen zu keinem Zeitpunkt bekannt. Deshalb also können die *x'* auch nicht unmittelbar an den *x* gemessen werden. Trotzdem wird bereits aus solcher strukturellen Beschreibung deutlich: *Erstens*, dass klar zwischen dem Widerspiegelungsprozess (Abbildung), dem Widerspiegelungsresultat (Abbild) und der Widerspiegelungsbeziehung (Widerspiegelungsrelation) unterschieden werden muss, um

85 Marxistisch-leninistische Erkenntnistheorie, hg. v. D. Wittich, K.. Gößler und K. Wagner, Berlin 1978, S. 123.

terminologische Konfusionen zu vermeiden.[86] *Zweitens,* dass die Entsprechung bzw. Übereinstimmung von Abbild und Abgebildetem (Adäquatheit bzw. Wahrheit des Widerspiegelungsresultats) auch Bestandteil der Definition des Abbildbegriffs selbst ist. *Drittens*, dass man unter Abbildern entweder nur „ideelle Resultate des Widerspiegelungsprozesses verstehen kann, in welchem sich die Menschen auf der Grundlage der gesellschaftlichen *Praxis* die *objektive Realität* vermittels des gesellschaftlichen Bewußtseins in verschiedenen Formen, wie Wissenschaft, Ideologie, Moral, Kunst, Religion, geistig aneignen"[87] oder aber, dass auch anorganische (z. B. Spiegelbilder) und biologische Abbilder bzw. Widerspiegelungsformen einbezogen werden können.

Letzteres hängt mit der Diskussion um *Lenins These vom Widerspiegelungsvermögen als allgemeiner Eigenschaft der Materie* eng zusammen. Alle Widerspiegelungsformen, anorganische, organische, menschlich-gesellschaftliche, sind genetisch miteinander verbunden. Für alle Widerspiegelungsformen gelten folgende *Gesetzmäßigkeiten*:

1. Das *Widergespiegelte* existiert außerhalb und unabhängig von seiner Widerspiegelung, die Widerspiegelung ist dagegen abhängig vom Widergespiegelten (dies entspricht, Punkt a) vorausgesetzt, dem Punkt b und c).

2. Die Widerspiegelung ist abhängig von der qualitativen Bestimmtheit des widerspiegelnden Systems.

3. Die Widerspiegelung ist eine adäquate Reproduktion von bestimmten Seiten und Merkmalen des Widergespiegelten (entsprechend Punkt d).

4. Die Widerspiegelung äußert sich *aktiv* im Prozess der adäquaten Reaktion des widerspiegelnden Systems.

Diese vier *Grundgesetze* existieren in beiden Widerspiegelungsaspekten (strukturell-funktionellem, historisch-genetischem). Zwischen dem allgemeinen Widerspiegelungsverständnis und dem Verständnis von *Information und Entwicklung* besteht ein Zusammenhang,[88] der weiter zu untersuchen ist.

Andererseits wollte Lenin mit seiner Nebenbemerkung[89] sicher keine allgemeine Widerspiegelungstheorie postulieren. Ihm ging es primär darum, in Auseinandersetzung mit dem Idealismus die materialistische Position vom genetischen Ursprung menschlichen Empfindens, menschlichen Widerspiegelungsvermögens aus bestimmten Eigenschaften der Materie zu betonen. Dazu sind, gemäß dem 2. Grundgesetz, deutlich die *qualitativen* Sprünge zwischen anorganischer und organischer wie auch zwischen organischer und menschlicher Widerspiegelungsform hervorzuheben.

Das Abbild im anorganischen widerspiegelnden System wird nicht im Sinne dieses Systems „genutzt". Das System kann zwar auf eine Einwirkung reagieren (z. B.

86 Vgl. ebenda, S. 124.
87 Stichwort „Abbild", in: Kleines Wörterbuch der marxistisch-leninistischen Philosophie, hg. von M. Buhr und A. Kosing, 4. Aufl., Berlin 1979.
88 Vgl. P. Franz, Information und Evolution (Diss. B), Berlin 1981.
89 Vgl. W. I. Lenin, Materialismus und Empiriokritizismus, in: Werke, Bd. 14, a. a. O., S. 85.

physikalisch oder chemisch), und diese Reaktion ist gemäß dem 2. Grundgesetz nicht nur von der qualitativen Bestimmtheit der Einwirkung, sondern auch von der des widerspiegelnden Systems abhängig. Die Reaktion weist aber keinen Selbstbezug des reagierenden Systems auf. Insofern ist die *Widerspiegelung im anorganischen Bereich passiv*, und man kann sie als *Spurenbildung* der Einwirkung im System auffassen.[90] Soll das 4. Grundgesetz auch in diesem Bereich gelten, muss Aktivität mit (physikalischer, chemischer) Reaktionsfähigkeit gleichgesetzt werden.[91] Die „adäquate Reaktion" wiederholt dann aber nur die Aussage des 3. Grundgesetzes.

Im Gegensatz dazu soll im folgenden von *Aktivität* nur gesprochen werden, wenn es zu einem *Selbstbezug* des widerspiegelnden Systems derart kommt, dass dieses auf der Basis einer Wertung des Abgebildeten in bezug auf sich selbst zu einer Reaktion auf das Abgebildete zugunsten oder zuungunsten seiner selbst gelangt. Diese Aktivität ist eine *neue*, *höhere Form der Widerspiegelung*. Damit sind auch Wertung und biologische Reaktion höhere Widerspiegelungsformen. Schließlich kommt dem Abbild, als deren Basis, eine höhere Qualität zu.

Natürlich hat die Fähigkeit zur aktiven Reaktion ebenso in der *physikalisch-chemischen Reaktionsfähigkeit* der Materie überhaupt ihre genetische Voraussetzung, wie die Fähigkeit zur Wertung ihre genetische Voraussetzung in der *Selektivität physikalisch-chemischer Widerspiegelungsprozesse* findet.

Während also vom *Abbild* ohne weiteres bereits auf der Stufe der physikalisch-chemischen Wechselwirkung und der darauf aufbauenden Widerspiegelungsform gesprochen werden kann, ist dies für die *Wertung* (die beim Menschen eng mit der Kategorie *Motivation* verbunden ist) und die *aktive Reaktion* (die beim Menschen ebenso eng mit der Kategorie *Handlung* zusammenhängt) nicht möglich. Beide treten erst auf dem biotischen Strukturniveau und in den entsprechenden Widerspiegelungsformen auf, markieren also gerade kategorial den qualitativen Sprung.

Zuweilen wird einzelwissenschaftlich nahezu jede Form biologischer Widerspiegelung – einschließlich der menschlich-gesellschaftlichen – als „*Erkenntnis*" bezeichnet, wie dies in der bereits erwähnten „Evolutionären Erkenntnistheorie" üblich geworden ist.[92] Wir verwenden den Terminus ausschließlich in Bezug auf die menschliche, insbesondere die sprachliche Widerspiegelung. Aber auch der *einzelwissenschaftliche Kognitionsbegriff* wird recht unterschiedlich verwendet. Dabei sind ebenfalls ein *engerer* und ein *weiterer Kognitionsbegriff* zu unterscheiden. So verwendet K. Lorenz einen weiteren Kognitionsbegriff, wenn er das Anpassungsresultat an eine Gegebenheit der äußeren Realität im Sinne eines „Lebenserfolgs", einer adäquaten Gestaltung der Beziehung biologischer Objekte zur Umwelt als „Erkenntnis" bezeichnet, und einen engeren, wenn er nur die

90 Vgl. G. Pawelzig, Stichwort „Aktivität" in: Wörterbuch Philosophie und Naturwissenschaften (hg. von H. Hörz, R. Löther und S. Wollgast) Berlin 1978.
91 Vgl. ebenda.
92 Vgl. G. Vollmer, Evolutionäre Erkenntnistheorie, Stuttgart 1975.

Information über die Außenwelt, über objektive Gesetzmäßigkeiten der Umgebung, die Übereinstimmung des Abbilds mit der Außenwelt meint.[93] Ersterer enthält Resultate von Wertungen im Sinne von Vor-Urteilen, letzterer schließt solche Wertungen gerade aus. Damit korrespondierend führt E. Oeser einen pragmatischen Informationsbegriff (Informationsgehalt und Informationswert zugleich umfassend) und einen deskriptiven Informationsbegriff (den objektiven Informationsgehalt einer Widerspiegelung erfassend) ein.[94] Kognition im engeren Sinne ist gebunden an eine Bezugsbildung zweier oder mehrerer Reize aufeinander und hat ein „Herunterspielen" der am Organismus selbst erfolgenden Änderungen zur Folge; diese Bezugsbildung ist Voraussetzung der Objektivierung von Umgebungsreizen und entspricht dem *Prinzip der Invariantenbildung*.

In den Ansätzen der *Motivationspsychologie* begegnet man in bezug auf den Menschen ebenfalls einem engeren (Denken, Erinnern, Wahrnehmen umfassenden) und einem weiteren (auch Erwartungen, Bewertungen, Glaubensweisen usw. umfassenden) Kognitionsbegriff. Ersterer dient vor allem der differenzierten Erfassung der Wechselwirkung kognitiver und motivationaler Komponenten, letzterer betont die Einheitlichkeit des Gesamtprozesses zwischen Wahrnehmung und Handlung. Auch in der *kognitiven Psychologie* wird der Kognitionsbegriff unterschiedlich verwendet. Wenn U. Neisser definiert, der Begriff der Kognition umfasse all jene Prozesse, „durch die der sensorische Input umgesetzt, reduziert, weiter verarbeitet, gespeichert, wieder hervorgeholt und schließlich benutzt wird" (inklusive stimulationsloser Prozesse wie Vorstellungen, Halluzinationen), so ist damit zweifellos ein weiterer Kognitionsbegriff anvisiert, wobei zugleich das Prozessmoment gegenüber dem Moment des Resultats hervorgehoben wird. Zurecht lässt sich auf dieser Basis behaupten, dass „jedes psychologische Phänomen auch ein kognitives Phänomen ist".[95] F. Klix trennt hingegen sehr deutlich kognitive und emotional-motivationale Prozesse und benutzt einen engeren Kognitionsbegriff. Kognitive Prozesse sind solche, die dem Menschen Aufschluss über die Beschaffenheit seiner Umgebung und über sich selbst im Sinne der Abbildung objektiver Dinge, Eigenschaften und Relationen, im Sinne der Informationsgewinnung vermitteln; emotional-motivationale Prozesse sind nicht-kognitiv.

Das *Grundprinzip* aller im engeren Sinne kognitiven Prozesse ist die *Invariantenbildung*, also die Ermittlung objektiver Invarianten der Wahrnehmung, der Begriffsbildung, des Denkens, des Problemlösens, also gerade dessen, was an Dingen, Eigenschaften und Relationen objektiv invariant gegenüber bestimmten Transformations- bzw. Invarianzleistungen ist.[96]

93 Vgl. K. Lorenz, Das Wirkungsgefüge der Natur und das Schicksal des Menschen, München – Zürich 1978.
94 Vgl. E. Oeser, Wissenschaft und Information, Bd. 2: Erkenntnis als Informationsprozeß, Wien – München 1976, S. 35 ff.
95 G. Vollmer, Evolutionäre Erkenntnistheorie, a. a O.
96 Vgl. ebenda, S. 106 ff.

An solchen einzelwissenschaftlichen Ergebnissen ist zweierlei interessant: Zum einen gilt es festzuhalten, dass die „Evolutionäre Erkenntnistheorie" nicht mehr und nicht weniger als eine Theorie der Evolution des biotischen Widerspiegelungsvermögens bis hin zum Menschen darstellt, wobei jedoch alle Momente der gesellschaftlichen Entwicklung dieses Vermögens zu kurz kommen. Es ist deshalb auch kein Zufall, wenn darin der Widerspiegelungsbegriff selbst unbefangen und zutreffend verwendet wird.[97] Zum anderen zeigt sich, dass die Unterscheidung von engerem und weiterem Erkenntnisbegriff, wie wir sie vorgeschlagen haben, ihre Begründung bzw. Bestätigung in einzelwissenschaftlicher Forschung findet. Dabei ist festzustellen: Jeder Erkenntnisprozess im weiteren ebenso wie im engeren Sinne ist ein Widerspiegelungsprozess, aber nicht jeder Widerspiegelungsprozess ein Erkenntnisprozess (das gilt für alle anorganischen Formen der Widerspiegelung). Betrachtet man jedoch *nur* den Bereich menschlicher Widerspiegelung und geht *zugleich* von dem weiten Erkenntnisbegriff aus, wonach der Erkenntnisprozess als gesamtgesellschaftlicher Widerspiegelungsprozess der objektiven Realität, als Erkenntnisprozess der Menschheit, als Erkenntnis im umfassendsten Sinne verstanden wird, so sind die Begriffe „menschlicher Widerspiegelungsprozess", „menschlicher Abbildungsprozess" und „menschlicher Erkenntnisprozess" sowie die Begriffe „Widerspiegelungsresultat", „Abbildungsresultat", „Erkenntnisresultat" (oft auch einfach als Widerspiegelung", „Abbild", „Erkenntnis" – im weiteren Sinne – bezeichnet) jeweils synonym. Der *Widerspiegelungsprozess* wird dabei stets als *aktiver* Prozess, als *Dialektik von Abbild* (im Sinne eines Nachbilds) *und Entwurf* aufgefasst.

Der marxistische Widerspiegelungsansatz beruht also selbst auf tiefen Einsichten in die Dialektik der Naturerkenntnis und stellt zugleich ein Instrument dar, weiter in diese Dialektik einzudringen.

2.2 Wahrheit

Wie bereits betont, wollen wir *Wahrheit* als *Adäquatheit von Denken und Sein* verstehen, dialektisch-materialistische Wahrheitstheorie demzufolge als Adäquatheitstheorie fassen. *Widerspiegelungsadäquatheit*, oder kurz Adäquatheit, wird dabei zwischen einem ideellen Abbild, einem Widerspiegelungsresultat, und dem von ihm widergespiegelten Objekt verlangt.[98] *Was* jeweils unter Adäquatheit verstanden werden soll, ist für die unterschiedlichen Widerspiegelungsformen sehr verschieden und muss differenziert behandelt werden. Keinesfalls spielt jedoch im Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnis *nur* der logische Wahrheitsbegriff eine Rolle. Auch alle anderen sogleich abzuhandelnden Adäquatheitsformen kommen darin zum Tragen.

Die Wahrheit einer Widerspiegelung zu erforschen, heißt also: herauszufinden, unter welchen Kriterien das Resultat einer Widerspiegelung ihrem Objekt adäquat ist.

97 Sehr deutlich bei: K. Lorenz, Die Rückseite des Spiegels, München 1977, besonders S. 17 ff.
98 G. Klaus, Spezielle Erkenntnistheorie, Berlin 1965, S. 93.

Es gibt sehr unterschiedliche Widerspiegelungsarten verschiedener Widerspiegelungssubjekte: Empfindungen; Wahrnehmungen; Merkmale (anschaulich repräsentierte Reizverarbeitungsleistungen); Begriffe (Zusammenfassung von widergespiegelten Objekten oder Ereignissen zu Klassen auf Grund von Merkmalen, insbesondere zu Objekt- und Operationsklassen); Bedeutungen (Relation zwischen verhaltensrelevanter Klassenbildung und Verhaltensorientierung); Bezeichnungen, Sprache (Benennungen von Begriffen hoher Bedeutsamkeit und Operationen mit ihnen); Denken, Problemlösen (Widerspiegelung der „Tiefenstruktur" der objektiven Realität – Natur und Gesellschaft –, des Widerspiegelungsprozesses selbst und seiner Resultate in Form von – definierten – Termini, Aussagen, mittels verschiedener Operatoren gebildeter Aussagensystemen, Theorien, die sich nicht auf Aussagensysteme reduzieren lassen);[99] Aufforderungen – z. B. Normen, Bitten, Vorschriften, Anordnungen, Postulate, Befehle (also gedankliche Gebilde, die üblicherweise in Form von Aufforderungssätzen existieren und deren primäre Funktion in der Leitung von Verhaltensweisen besteht)[100], Wertungen; künstlerische Widerspiegelungen usw. Ebensoviele Arten von Adäquatheit gibt es. Für jede Art von Adäquatheit sind *Adäquatheitskriterien* anzugeben, die klarlegen, was hinsichtlich einer bestimmten Widerspiegelungsart unter Adäquatheit verstanden wird und wonach diese zu beurteilen ist. In letzter, aber eben erst in letzter Instanz ist dies stets die *Bewährung* der Widerspiegelung in der Praxis. Der Satz „die Praxis ist das Kriterium der Wahrheit" fasst den Wahrheitsbegriff demnach im allgemeinsten philosophischen Sinne der Widerspiegelungsadäquatheit.

Die Widerspiegelungsarten unterscheiden sich also nicht hinsichtlich dieses Kriteriums letzter Instanz, sondern der vorgelagerten Kriterien. Dazu werden folgende Festlegungen vorgeschlagen:

(1) *Empfindungen* sind adäquat, wenn sie Reizparameter und Reizintensitäten (etwa die Tonhöhe und die Lautstärke) skalenisomorph abbilden (wesentliches spezifisches Adäquatheitskriterium für Empfindungen). Dies gestattet die optimale Orientierung des Organismus gegenüber äußeren und inneren Reizgegebenheiten (entsprechendes Praxiskriterium).

(2) *Begriffe* sind adäquat, wenn sie solche Gruppen von Merkmalen in Klassen zusammengefasst widerspiegeln, die tatsächlich durch objektive Ähnlichkeiten, Beziehungen oder Gesetze verbunden sind (wesentliches spezifisches Adäquatheitskriterium für Begriffe). Dies gestattet Operationen über den Gedächtnisbesitz anstelle sofortiger physischer Operationen (vorauseilende Widerspiegelung) und damit eine optimale Verhaltensanpassung (entsprechendes Praxiskriterium).

99 All diese Widerspiegelungsarten untersucht: F. Klix, Information und Verhalten, a. a. O. Die philosophischen Aspekte werden diskutiert in: J. Erpenbeck, Psychologie und Erkenntnistheorie, Berlin 1980.
100 Vgl. W. Segeth, Aufforderung als Denkform, Berlin 1974, S. 32.

(3) *Benennungen* sind adäquat, wenn sie tatsächlich verhaltensrelevante Begriffe sprachlich belegen (wesentliches spezifisches Adäquatheitskriterium für Benennungen). Dann ist damit eine optimale Kommunikation mittels Sprache möglich (entsprechendes Praxiskriterium).

(4) *Denkresultate und Problemlösungen* sind adäquat, wenn die ihnen zugrunde liegenden Termini (Begriffe → Bedeutungen → Benennungen) adäquat sind und die sie bildenden Aussagen, Systeme von Aussagen und/oder Theorien mit entsprechenden Sachverhalten übereinstimmen (wesentliches spezifisches Adäquatheitskriterium für Denkresultate und Problemlösungen). Damit wird eine auf Wissen, auf Erkenntnis im engeren Sinne gegründete Gestaltung und Umgestaltung von Natur und Gesellschaft möglich (entsprechendes Praxiskriterium).

Hier ist eine Anmerkung notwendig. Oftmals wird Wahrheit als Übereinstimmung von Aussagen mit objektiv-realen oder abhängig von der objektiven Realität existierenden Sachverhalten[101] definiert. Dies soll hier als *logischer Wahrheitsbegriff* bezeichnet werden. Seine *Anwendbarkeit beruht auf einigen einschneidenden Bedingungen*:

a) Er ist nur auf Resultate von Erkenntnisprozessen im engeren Sinne (engerer, resultativer Erkenntnisbegriff) anwendbar.

b) Er setzt adäquate Termini (entstanden über die sukzessive Widerspiegelung von Merkmalsklassen in Begriffen, Bedeutungen, Benennungen) bereits voraus, sie müssen damit intensional und extensional festgelegt sein.

c) Er schränkt die Widerspiegelungen auf Aussagen und Systeme von Aussagen ein. Aber schon alle naturwissenschaftlichen Theorien sind mehr als nur Aussagensysteme.[102] Sehr bewusst hat sich Tarski deshalb in seinem berühmten Aufsatz über den „Wahrheitsbegriff in den formalisierten Sprachen" auf die Sprachen von Logik und Mathematik zurückgezogen, für die diese Einschränkung voll zutrifft.[103]

d) Mit den Bedingungen a) bis c) lassen sich im Prinzip jeder Aussage bzw. jedem Aussagensystem die Wahrheitswerte „wahr" und falsch" zuordnen. Es wäre dann allerdings völlig unsinnig, von einer Aussage zu behaupten, sie sei eine „relative Wahrheit". Der logische Wahrheitsbegriff allein ist also schlecht geeignet, einen zentralen Begriff der marxistisch-leninistischen Wahrheitstheorie zu erschließen. Tatsächlich reflektiert der Wissenschaftler viel weniger über die „Übereinstimmung von Aussagen und Sachverhalten" als über die relative Adäquatheit (Wahrheit) seiner Erklärungen.

Der Psychologe F. Klix hat den Vorgang wissenschaftlicher Wahrheitsfindung in besonders anschaulicher Weise dargestellt: „Der Vorgang des Erklärens ist ... ein

101 Vgl. D. Wittich/K. Gößler/K. Wagner, Marxistisch-leninistische Erkenntnistheorie, Berlin 1978, S. 268. Dort wird allerdings der Bezug zur „Adäquatheit" in unserem Sinne sofort über den Begriff der „Handlungsanweisung" hergestellt.
102 Vgl. H. Hörz, Marxistische Philosophie und Naturwissenschaften, Berlin 1974, S. 266 ff.
103 Vgl. A. Tarski, Der Wahrheitsbegriff in den formalisierten Sprachen, in: K. Berka/L. Kreiser (Hrsg.), Logik-Texte, Berlin 1971.

iterativer, prinzipiell unbegrenzt fortsetzbarer Prozeß ... Stets wird dabei nicht nur das zu Erklärende erhellt, sondern das zur Erklärung Herangezogene fordert seinerseits die Herleitung (und macht damit einen Vergleich Aussage – Sachverhalt unmöglich, da die Aussage nicht absolut fixierbar ist! – J. E.). Es ist klar: Die Entscheidung, wann ein Phänomen erklärt ist, kann nicht aus der Methode des Erklärens, sie muss aus ihrem Ziel abgeleitet werden. Im allgemeinsten Fall ist dies die Voraussagbarkeit des Erklärten oder seiner Eigenschaften aus den Komponenten (und ihrer Wechselwirkung), die eben zur Erklärung herangezogen wurden. Ist dieses Bedingungsgefüge handhabbar, dann erweist sich die Hinlänglichkeit der Erklärung in der Herstellbarkeit oder Erzeugbarkeit des Erklärten.

In diesem Sinne ist eine chemische Verbindung erklärt, wenn sie herstellbar geworden ist. Dieses *Prinzip der zulänglichen Erklärung* geht auf F. Engels zurück. Es scheint der einzige zwingende Weg zur Vermeidung der agnostischen Sackgasse des Reduktionismus."[104] Dass dennoch der logische Wahrheitsbegriff für die erkenntnistheoretische Untersuchung einzelwissenschaftlicher, insbesondere naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse eine so große Bedeutung besitzt, beruht u. a. auf der starken Betonung der Phasen von Deduktion und Reduktion gegenüber Induktion und Konstruktion im erfahrungswissenschaftlichen Prozess durch viele Wissenschaftler und Wissenschaftstheoretiker.[105]

Der logische Wahrheitsbegriff versagt völlig gegenüber Wertungen, Aufforderungen und künstlerischen Widerspiegelungen. Will man ihn als grundsätzlich philosophischen Wahrheitsbegriff benutzen, muss man entweder Wert„urteile" fälschlich zu Aussagen erklären, oder man muss konsequent erklären, ihnen käme keine Wahrheit zu, und muss die Adäquatheit von Wertungen, Aufforderungen usw. mit anderen Begriffen umschreiben (Gültigkeit, Zutreffen usw.). Der philosophische Zusammenhang, der durch den Gedanken der Wahrheit als Adäquatheit von Denken und Sein gefasst ist, geht dann aber weitgehend verloren. Deshalb scheint es sinnvoll, dem hier vorgeschlagenen Konzept folgend, die spezifischen Adäquatheitskriterien für Wertungen, Aufforderungen usw. zu überlegen und daraus zu bestimmen, was unter Wahrheit von Wertungen, Aufforderungen usw. zu verstehen ist.

(5) *Wertungen* sind adäquat, wenn sie es gestatten, die Elemente einer Klasse von Objekten der Wertung so zu ordnen, dass diejenigen Elemente, die das geringste Abstands„maß" zum – historisch relativen – Maßstab der Wertung haben (also objektive Bedürfnisse und Interessen des Subjekts der Wertung historisch relativ optimal befriedigen), in einem Entscheidungsprozess ausgewählt werden können (wesentliches spezifisches Adäquatheitskriterium für Wertungen). Damit ist dann eine Handlungs-

104 F. Klix, Über Grundstrukturen und Funktionsprinzipien kognitiver Prozesse, in: Psychologische Beiträge zur Analyse kognitiver Prozesse, hg. von F. Klix, Berlin 1976, S. 12.
105 Dies kritisiert sehr überzeugend: E. Oeser, Wissenschaft und Information, Bd. 3: Struktur und Dynamik erfahrungswissenschaftlicher Systeme, Wien – München 1976, S. 119.

alternative realisierbar, die zu einem historisch relativen Optimum der Befriedigung objektiver Bedürfnisse und Interessen führt (entsprechendes Praxiskriterium).

Diese Bestimmung hat gegenüber den vorangegangenen einige *Besonderheiten*: Während in allen bisher untersuchten Widerspiegelungsprozessen die Objekte der Widerspiegelung und die Resultate der Widerspiegelung miteinander verglichen werden konnten, ohne dass Eigenschaften des widerspiegelnden Subjekts auf die Einschätzung der Adäquatheit unmittelbar Einfluss hatten, geht das Subjekt hier direkt in den Widerspieglungsprozess und sein Resultat ein – über die Grundlagen (Bedürfnisse und Interessen) und Maßstäbe der Wertung (hypothetisches Optimum des Subjekts der Wertung) und über die historische Situation des Subjekts, die sowohl die Bedürfnisse und Interessen determiniert als auch festschreibt, inwieweit das „Optimum", der Maßstab der Wertung, überhaupt erfahren werden kann. Gerade insoweit die objektiven Gesetze nicht im engeren Sinne erkannt sind, die die Wertungsgrundlagen, Maßstäbe und -arten usw., also die gesamte Subjekt-Objekt-Dialektik der Wertung historisch-materiell determinieren, sind Wertungen der „Ersatz" für entsprechendes Gesetzeswissen, welcher dennoch historisch relativ optimales Verhalten ermöglicht. Im Extremfall ist der Maßstab exakt gesellschaftswissenschaftlich erkennbar, d. h. „sowohl das Optimum" wie die Bedürfnisse und Interessen sind „berechenbar". Der Entscheidungsprozess des Adäquatheitskriteriums ist dann algorithmisierbar. Die Handlungsalternative liegt damit von vornherein fest. Die Wertung lässt sich so theoretisch auf den Fall (4), die Adäquatheit auf das dort angeführte Kriterium zurückführen. Dieser *Übergang von „eigentlicher" Wertung zur Messwertung* entspricht der Ausbildung einer Erkenntnis im engeren Sinne über das bewertete Objekt. *Erkenntnisfortschritt ist* folglich niemals nur Fortschritt der Erkenntnis im engeren Sinne, sondern *auch Fortschritt der Wertungen* zu *immer adäquateren hin. Wertungen sind stets im historischen Kontext zu untersuchen.*

Wissenschaftliche Theorien können in ihrem Wahrheitsgehalt oftmals ohne historischen Bezug verglichen werden. Wertungen bleiben ohne diesen unverständlich. Der Zeitfaktor spielt aber noch in anderer Hinsicht eine wichtige Rolle. Der *Ursprung* aller moralischer Normen, *aller eigentlicher Wertungen* liegt vor und außerhalb der Wissenschaft – *im wirklichen Lebensprozess des Menschen*, *in der individuellen und kollektiven Praxis*, die sich auf der Grundlage eines bestimmten Systems von Produktivkräften, Produktions- und Klassenverhältnissen vollzieht.[106] Dieser – oft lange Zeiträume erfordernde – „Lebensprozess" ist es, der es gestattet, „Hypothesen" über das historisch relative Optimum des Subjekts der Wertung auf Grund von Erfahrung; aber ohne entsprechende wissenschaftliche Erkenntnis im engeren Sinne zu entwickeln. Deshalb ist auch die „Umwertung" von Wertungen ein oftmals sehr langsam verlaufender Vorgang.

(6) „Eine *Aufforderung* ist adäquat genau dann, wenn die Operation, zu der aufgefordert wird, ausgehend von den angegebenen Ausgangsbedingungen, zu dem

106 Vgl. W. Eichhorn I, Wie ist Ethik als Wissenschaft möglich?, a. a. O., S. 70.

beabsichtigten Ziel führt"[107] (wesentliches spezifisches Adäquatheitskriterium für Aufforderungen). Damit ist eine Handlung ausführbar, die das beabsichtigte Ziel realisiert (entsprechendes Praxiskriterium). Hier sollen nicht die Überlegungen Segeths wiederholt werden, die zu dieser spezifischen Form der Bestimmung der Adäquatheit (Wahrheit) von Aufforderungen und zu ihrer strikten Unterscheidung von der Adäquatheit (Wahrheit) von Aussagen und Theorien führten.[108]

Naturerkenntnis, die nicht lediglich mit vorgefundenen Widerspiegelungsresultaten operiert, sondern neue, immer adäquatere zu entwickeln bemüht ist, reflektiert auch die Grundlagen ihres eigenen Herangehens, ihrer eigenen Entwicklung. Dazu aber ist die Analyse der Empfindungen, Begriffsbildungen, Wertungen, Normen, Aufforderungen usw., die dem zugrunde liegen, sowie deren Adäquatheit nicht weniger wichtig als die Analyse der letztendlichen Denkresultate und Problemlösungen und ihres Wahrheitsgehalts. Philosophisch begründete Naturerkenntnis verlangt also eine Wahrheitstheorie, die eine Adäquatheitstheorie im dargestellten Sinne ist.[109]

3. Methoden der Naturerkenntnis

Prinzipien der Naturerkenntnis sind allgemeine philosophische Aussagen, die die Naturerkenntnisprozesse weltanschaulich orientieren. Sie genügen jedoch noch nicht, um wirklich zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. Dazu bedarf es eines Methodenarsenals, das – in seiner heutigen Gestalt – selbst ein Entwicklungsprodukt der bisherigen Wissenschaftsgeschichte ist und mit der zukünftigen Wissenschaftsentwicklung auch weiteren Wandlungen unterliegen wird.

Wir wollen nunmehr einige der philosophisch-weltanschaulich und erkenntnistheoretisch bedeutsamen Fragen im methodischen Vorgehen der Naturwissenschaften behandeln. Indem wir auf die *Dialektik der naturwissenschaftlichen Begriffsbildung* (Vergleich, Klassifikation und Größenbildung), die *Dialektik der Beziehungen von Beobachtung*, *Messung*, *Experiment*, *Modell und Theorie,* einige Aspekte von *Theoriebildungsmetboden* (Symbolisierung, Formalisierung und Mathematisierung) sowie die Frage nach der Abgrenzung wissenschaftlich berechtigter *Reduktionen* vom weltanschaulichen *Reduktionismus* eingehen, setzen wir einerseits die Erörterungen von methodischen Konsequenzen aus der Theorie der materialistischen Dialektik fort und bereiten andererseits zugleich die dominant auf der Ebene der subjektiven Dialektik angesiedelten Untersuchungen des konkreten naturwissenschaftlichen Materials vor. In den nachfolgenden Kapiteln werden wir wiederholt gezwungen sein, auf die Dialektik des Erkenntnisprozesses zurückzukommen, Präzisierungen der allgemeinen

107 W. Segeth, Aufforderung als Denkform, a. a. O., S. 57.
108 Vgl. ebenda, S. 50.
109 Ausführlich dazu: J. Erpenbeck, Motivation – Ihre Philosophie und Psychologie, Berlin 1984, S. 313 ff.

Aussagen dieses Kapitels vorzuschlagen und darüber hinausgehende Erörterungen anzustellen.

3.1 Beobachtung, Vergleich und Klassifikation

Wissenschaftliche Naturerkenntnis vollzieht sich in der Forschung als wissenschaftsgeschichtlicher Prozess der Wahrheitssuche, der auf dem jeweils vorhandenen Wissen fußt und problemorientiert über das Entwerfen und Prüfen von Hypothesen verläuft. Notwendige unmittelbare Komponenten der Forschung sind die zu erforschenden Gegenstände, die zu lösenden Probleme und hypothetischen Lösungsentwürfe, die Methoden und technisch-apparativen Mittel sowie das Erkenntnisvermögen und die sprachliche Kommunikation der Forscher. Durch ihr Denken und Handeln werden die anderen Komponenten zugleich in Zusammenhang gebracht und in Bewegung versetzt.

Forschung basiert wie alle menschliche Erkenntnis auf der sinnlichen Wahrnehmung der objektiven Realität, deren erweiterte und intensivierte Reproduktion zum Erkenntnisfortschritt führt. Beobachtung, Vergleich und Klassifikation sind Verfahren auf der *empirischen Stufe der wissenschaftlichen Erkenntnis*. Für sie ist die Einheit von sinnlicher Wahrnehmung mit gedanklicher Analyse und Synthese kennzeichnend. Auf der empirischen Stufe fußt die *theoretische Stufe der wissenschaftlichen Erkenntnis,* auf der das Denken als theoretische Erkenntnis gegenüber der empirischen Erkenntnis relative Selbständigkeit gewinnt. Hat die wissenschaftliche Erkenntnis die theoretische Stufe erklommen, treten empirische und theoretische Stufe in Wechselwirkung.

Die methodologische Unterscheidung von empirischer und theoretischer Erkenntnisstufe darf nicht mit der erkenntnistheoretischen Unterscheidung von *sinnlicher und rationaler* Erkenntnis verwechselt werden. Sinnliche und rationale Erkenntnis sind bei entwickeltem Erkenntnisvermögen des Individuums nicht Stufen, Stadien, sondern Aspekte, Seiten eines einheitlichen Prozesses, der zwar von den Sinnesdaten ausgeht, aber von Anfang an auch vom Denken durchdrungen ist und von ihm beherrscht wird. Das führt zu *neuen* Gedanken und kann auch die sinnliche Wahrnehmung bereichern. Zur Bereicherung der sinnlichen durch die rationale Erkenntnis bemerkt S. L. Rubinstein: „Dadurch, daß die ursprünglichen Sinnesdaten in neue Zusammenhänge einbezogen werden, wird die Wahrnehmung ständig umgestaltet und vertieft. Diese Tatsache zeigt sich zum Beispiel, wenn man vergleicht, wie der Ausschlag eines wissenschaftlichen Geräts von einem Menschen, der die Erscheinung, die der Ausschlag bezeichnet, nicht kennt und von einem Wissenschaftler, der diesen Ausschlag deuten kann, wahrgenommen wird: Die gleichen sinnlichen Eindrücke erhalten hier eine neue Bedeutung, es wird in ihnen ein neuer objektiver Inhalt wahrgenommen.“[110]

110 S. L. Rubinstein, Sein und Bewußtsein. Die Stellung des Psychischen im allgemeinen Zusammenhang der Erscheinungen der materiellen Welt, Berlin 1962, S. 65; vgl. N. I. Gubanow, Aktivität

In der wissenschaftlichen Naturerkenntnis findet die sinnliche Wahrnehmung wesentlich in der *Beobachtung* statt. Rubinstein charakterisiert das Verhältnis von Wahrnehmung und Beobachtung: „Die Lebenspraxis veranlaßt den Menschen, von der unbeabsichtigten Wahrnehmung zur zielgerichteten Beobachtung überzugehen ... Die Beobachtung schließt Analyse und Synthese, Sinnerfüllung und Deutung des Wahrgenommenen ein. So geht die Wahrnehmung, die ursprünglich als Komponente oder Bedingung mit einer konkreten praktischen Tätigkeit verbunden war, als Beobachtung in eine mehr oder weniger komplizierte Denktätigkeit über, in deren System sie neue spezifische Züge gewinnt."[111]

Bezieht sich diese Charakteristik auf Beobachtung schlechthin, wird die *Beobachtung in der naturwissenschaftlichen Forschung* in Übereinstimmung mit methodischen Regeln zielstrebig, planmäßig und systematisch eingesetzt, um die für das Testen von Hypothesen und damit das Lösen von Problemen benötigten Sinnesdaten (empirische Daten) zu beschaffen. Sie wird durch apparative Hilfsmittel (Geräte), wie Mikroskop und Fernrohr, Fernsehkamera, Filmapparat und Tonbandgerät, Röntgengerät und Computertomograph, gestützt bzw. für viele Objekte überhaupt erst ermöglicht. Sie erfolgt in differenzierten Formen, d. h. sie kann *unmittelbar* sich nur der menschlichen Sinne bedienen oder durch Instrumente wie Lupe oder Teleskop *vermittelt*, *direkt* oder aber *indirekt* über z. B. Elektronenmikroskop, Ultraspektralkamera oder Blasenkammer vor sich gehen, *einmalig* oder *wiederholt* und *statistisch gesichert* sein. Beobachtet werden *unveränderte* oder zuvor *präparierte* Objekte, die sich in *Ruhe* oder *Bewegung* befinden.

Diese unvollständige Aufzählung lässt bereits eine Vielfalt von Kombinationsmöglichkeiten absehen. Weiter kann die Beobachtung „rein", d. h. als relativ selbständige Erkenntnisoperation, auftreten, z. B. in der Astronomie oder der biologischen Feldforschung, oder als Komponenten anderer Verfahren der Gewinnung von Tatsachenaussagen, so der Partition (Zerlegung eines materiellen Ganzen in seine Teile, z. B. in der Anatomie durch Sektion) und des Experimentes (vgl. 3.3.). Die Resultate der Beobachtung werden als Beschreibung sprachlich festgehalten, ergänzt durch Bild, Tonbandaufnahme und Film, Schema, Tabelle und Kurve.

Auf der Beobachtung, sei sie „rein" oder Komponente einer anderen Erkenntnisoperation, fußt der *Vergleich* (Komparation). Im Vergleich werden die Ergebnisse von mindestens zwei Beobachtungen aufeinander bezogen. „Der Vergleich beginnt damit, daß wir die Erscheinungen zueinander in Beziehung setzen oder sie einander gegenüberstellen, d. h. mit einem synthetischen Akt. Durch diesen synthetischen Akt erfolgt die Analyse der zu vergleichenden Erscheinungen, die Ermittlung ihrer

und soziale Bedingtheit der sinnlichen Widerspiegelung, in: Gesellschaftswissenschaftliche Beiträge, 5/1985; A. Korschunow, Dialektik der sinnlichen Widerspiegelung, in: Kunst und Literatur, 3/1980.

111 S. L. Rubinstein, Grundlagen der allgemeinen Psychologie, Berlin 1971, S. 309.

Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Das durch die Analyse ermittelte Gemeinsame vereint, d. h. synthetisiert die zu verallgemeinernden Erscheinungen. Der Vergleich ist somit eine Analyse, die mittels einer Synthese erfolgt und zur Verallgemeinerung, also zu einer neuerlichen Synthese, führt. Der Vergleich ist die konkrete Form des wechselseitigen Zusammenhanges von Analyse und Synthese, durch die wir die Erscheinungen empirisch verallgemeinern und klassifizieren", schreibt Rubinstein.[112]

Voraussetzung der Vergleichbarkeit von Objekten ist, dass sie *Merkmale* haben, d. h. sie unterscheidende oder ihnen gemeinsame *Eigenschaften*. Mit anderen Worten: Sie müssen einander ähnlich sein. *Ähnlichkeit* ist eine zweistellige Relation zwischen Objekten im Hinblick auf bestimmte gemeinsame Eigenschaften oder Eigenschaftskombinationen (Muster). Die Ähnlichkeitsrelation ist reflexiv, symmetrisch und weder generell transitiv (d. h. insgesamt äquivalent) noch generell intransitiv.[113] Reflexivität bedeutet, dass ein Objekt zu sich selbst in dieser Beziehung steht; Symmetrie liegt vor, wenn ein Objekt *A* einem Objekt *B* ähnlich und auch das Objekt *B* dem Objekt *A* ähnlich ist. Weder generell transitiv noch generell intransitiv ist die Ähnlichkeitsrelation, weil, wenn ein Objekt *A* einem Objekt *B* ähnlich ist und das Objekt *B* einem Objekt *C*, daraus nicht notwendig folgt, dass auch das Objekt *A* dem Objekt *C* ähnlich sein muss.

Ähnlichkeit, Vorhandensein von Merkmalen, ermöglicht objektiv das Vergleichen; es liegt letztlich aller Verallgemeinerung zugrunde. Als Resultate des Vergleichens können einmal Typen, zum anderen Klassifikationen aufgestellt werden. *Typologisieren und Klassifizieren* unterscheiden sich durch die Art und Weise der Abstraktion von den Objekten. Geht es beim Klassifizieren darum, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede in Objektmengen aufzudecken und diese demgemäß gedanklich zu ordnen, zielt die typologische Methode auf das Hervorheben nur des Gemeinsamen ähnlicher Objekte ab. Dies geschieht durch das Aufdecken von Mustern (Merkmalskomplexen) und ihre idealisierende Abstraktion. Das führt zum Entwerfen der als „Typus" oder „Bauplan" bezeichneten ideellen Modelle, die allgemeine Objektstrukturen widerspiegeln, z. B. des Idealkristalls, des Bauplans von Organismengruppen in der biologischen Morphologie oder von Lebensformtypen in der Bioökologie. In Abhängigkeit von der Abstraktionshöhe sind sie als konkrete individuelle Gebilde vor- und darstellbar.

Solche *Typen* sind ideale Objekte, die insbesondere als Hilfsmittel für Vergleich und Klassifikation mit den realen Objekten in Beziehung gesetzt werden. Zugleich finden verschiedentlich Diskussionen über Wert oder Unwert der typologischen Methode im Hinblick auf verschiedene Wissenschaftsgegenstände statt.[114] Durchaus

112 S. L. Rubinstein, Das Denken und die Wege seiner Erforschung, Berlin 1961, S. 37 f.
113 Vgl. P. G. Klemm, Philosophische und methodische Probleme der faktorenanalytischen Typenbestimmung (Diss. A), Berlin 1965.
114 Vgl. W. Hollitscher, Lebewesen Mensch, Berlin 1985, S. 168-172; W. Wächter, Einige Bemerkungen zur Methodologie der Typisierung, in: W. Küttler (Hrsg.), Marxistische Typisierung und idealtypische Methode in der Geschichtswissenschaft, Berlin 1986.

anzutreffende Mängel ihres Verständnisses oder Einsatzes rechtfertigen pauschale Urteile nicht, die ihr absprechen, ein wissenschaftliches Erkenntnisverfahren zu sein.

Beim *Klassifizieren* werden vermittels des Vergleichens die Merkmale von Objektmengen als Initialklassen analysiert, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Objekte aufgedeckt und diese demgemäß in neben- sowie über- und untergeordnete Klassen von abgestufter Allgemeinheit, in ein hierarchisches Klassifikationssystem gruppiert. Dafür ist Bedingung, dass die zugrunde liegende Ähnlichkeitsrelation transitiv und insgesamt äquivalent ist (Äquivalenzrelation). Zur generellen Bedeutung des Klassifizierens für die Naturerkenntnis bemerkte M. Planck: „Eine jede wissenschaftliche Betrachtungsweise hat zur Voraussetzung die Einführung einer gewissen *Ordnung* in die Fülle des zu behandelnden Stoffes. Denn nur durch eine ordnende und vergleichende Tätigkeit kann man die Übersicht über das vorliegende und sich unablässig anhäufende Material gewinnen, welches notwendig ist, um die auftretenden Probleme zu formulieren und weiter zu verfolgen. Ordnung aber bedingt Einteilung, und insofern steht am Anfang einer jeden Wissenschaft die Aufgabe, den ganzen vorliegenden Stoff nach einem gewissen Gesichtspunkt einzuteilen."[115]

In der Tätigkeit des Klassifizierens treten notwendig auf: die Menge der zu klassifizierenden Objekte (Initialklasse) als Classificandum, das Klassifikationsprinzip als Classificans (Klassifizierendes) und als Ergebnis des Klassifizierens das Classificatum, das klassifizierte Classificandum, das nun in Klassen (Teilklassen der Initialklasse) eingeteilt vorliegt:

$$\left.\begin{array}{l}\text{Classificandum}\\ \\ \text{Classificans}\end{array}\right\} \rightarrow \text{Classificatum}$$

So klassifizierte beispielsweise C. von Linné das Pflanzenreich, soweit es zu seiner Zeit bekannt war, im „Sexualsystem" der Pflanzen, wobei er die Blütenpflanzen nach der Geschlechtsverteilung in den Blüten sowie nach der Anzahl, Verwachsung, Anordnung und den Längenverhältnissen der Staubblätter in 23 Klassen einteilte und den verbliebenen Rest (nach einem negativen Merkmal) in die 24. Klasse, die der Kryptogamen (Verborgengeschlechtlichen) verwies.

Auf die mit dieser Prozedur enthaltenen Klassen lässt sie sich wieder anwenden, wenn diese Klassen als Initialklasse betrachtet werden. Man erhält dann Klassen 2. Ordnung, die ihrerseits Elemente von Klassen 3. Ordnung sein können usw., bis früher oder später eine Klasse n-ter Ordnung auftritt, die nicht mehr Element einer übergeordneten Klasse ist. Damit ist das Classficandum seiner Ähnlichkeit nach als Classificatum im Klassifikationssystem abgebildet.

Integrierter Bestandteil des Klassifizierens ist seine sprachliche Komponente, das Benamen der. Klassen. Im Ergebnis entsteht die mit dem *Klassifikationssystem*

115 M. Planck, Die Physik im Kampf um die Weltanschauung, Leipzig 1958, S. 4.

verknüpfte *Nomenklatur*, sein sprachlicher Ausdruck. Sie gehört zur Fachsprache der Wissenschaft, in der das Klassifikationssystem aufgestellt wurde. Nomenklaturprobleme sind besonders für die Wissenschaften wichtig, die es mit großen Objektmannigfaltigkeiten zu tun haben, z. B. die Chemie und die Biologie, wo die Menge der chemischen Verbindungen bzw. der Organismenarten nach Millionen gezählt wird. Hier werden Nomenklaturprobleme von Kommissionen im Auftrag internationaler wissenschaftlicher Organisationen bearbeitet und durch internationale wissenschaftliche Konferenzen autorisierte Regelungen getroffen, so jeweils für die anorganische und die organische Chemie, die botanische und die zoologische Systematik. Zu den Minimalanforderungen an jede wissenschaftliche Nomenklatur der Objekte gehört vor allem, dass die Namen eindeutig, auf einheitliche Weise gebildet und beständig sind.

Klassifikationen in der Wissenschaft werden zu bestimmten Zwecken durchgeführt, die sich aus dem Fortgang der Erkenntnis und/oder Erfordernissen der gesellschaftlichen Praxis ergeben. Daher ist es auch sinnlos zu fragen, ob eine Klassifikation besser sei als eine andere, solange nicht gesagt wird für welchen Zweck.

Klassifikationen sind Formen, um Wissen handhabbar zu ordnen. „So bedeutet z. B. die Einteilung einer Krankheit in die Klasse der Infektionskrankheiten nicht nur der Anwendung aller jener diagnostischen und therapeutischen Prinzipien, die für alle Infektionskrankheiten. im allgemeinen gelten", konstatierte A. Fischer.[116] Das verweist zugleich auf die historische Dimension des Klassifizierens, wurde doch die Klasse der Infektionskrankheiten erst im 19 Jahrhundert gebildet.

In verschiedenen Abschnitten der Geschichte einer Wissenschaft treffen wir verschiedene Klassifikationen von Objekten eines Bereiches an, in die der Bestand des vorhandenen Wissens aufgenommen ist. Entwicklung und sich aus den herangezogenen Merkmalen ergebende Arten der Klassifikation werden vom Inhalt des Wissens bedingt, dessen Formen sie sind. „Man kann den Stand einer Wissenschaft am einfachsten an den Fortschritten der angewandten Einteilungsprinzipien beurteilen; die Inhaltsübersicht kann bei naturwissenschaftlichen Lehrbüchern die Jahreszahl der Ausgabe ersetzen", formulierte Fischer pointiert.[117] Der Inhalt des Wissens und seine Entwicklung einerseits und die Zweckbestimmtheit der Klassifikationssysteme und ihre wechselnden Zwecksetzungen andererseits setzen die Widersprüche, in deren Lösung die Klassifikation entwickelt wird.

„Steno veränderte die Welt auf die einfachste und doch gründlichste Weise. Er klassifizierte ihre Objekte anders", schreibt S. J. Gould[118] über den dänischen. Natur-

116 A. Fischer, Die philosophischen Grundlagen der wissenschaftlichen Erkenntnis, Wien 1947, S. 116.
117 Ebenda.
118 S. J. Gould, Men's Teeth and Horse's toes. Further Reflections in Natural History, Harmondsworth 1984, S. 78.

forscher und seine Schrift „De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus“ („Vorläufer einer Dissertation über feste Körper, die von Natur aus in andere feste Körper eingeschlossen sind“, 1669), einem Gründungsdokument der Geologie. Im „Prodromus“ werden feste Körper in festen Körpern und ihre Klassifikation nach ihrer Entstehungsweise abgehandelt. Die Schrift enthält zwei grundlegende Einsichten: 1. dass feste Körper in festen Körpern ein eigener Untersuchungsgegenstand sind, 2. dass sie unterschiedlichen Ursprungs und danach zu klassifizieren sind. Es sind Objekte der Geologie, denen sich Steno zuwandte – Fossilien in Gesteinsschichten, Kristalle im Felsgestein; sogar die Gesteinsschichten selbst in den Mulden ihrer Ablagerung gehören dazu. Vor allem unterschied Steno zwei grundlegende Klassen im Gestein eingeschlossener fester Körper: die von ihm als steingewordene Lebensspuren identifizierten Fossilien, die vor ihrem Einschluss ins Gestein hart geworden waren, wie Haifischzähne und Muschelschalen, und Kristalle und Adern, die sich im festen Felsgestein erst bilden. Eine allgemeine Theorie, wie Festkörper in Festkörper gelangen, konnte ein Leitfaden zum Erschließen der Erdgeschichte werden, auch wenn Steno selbst bemüht war, mit den biblischen Geschichten von Schöpfung und Sintflut konform zu bleiben.

Stenos bahnbrechende Leistung gibt Gould Anlass zu bemerken: „Die Taxonomie wird oft als langweiligster der Gegenstände betrachtet, geeignet nur für geistloses Anordnen, und manchmal innerhalb der Wissenschaft als bloßes ‚Briefmarkensammeln‘ (eine Bezeichnung, über die dieser ehemalige Philatelist tiefen Ärger empfindet) angeschwärzt. Wenn die Klassifikationssysteme neutrale Hutständer wären, um die Fakten dieser Welt daran aufzuhängen, könnte diese Missachtung berechtigt sein. Aber Klassifikationen widerspiegeln zum einen unser Denken und zum anderen leiten sie es. Die Weise, wie wir ordnen, repräsentiert die Weise, wie wir denken. Geschichtliche Veränderungen im Klassifizieren sind fossilierte Indikatoren von Revolutionen der Konzepte.“[119]

Unverkennbarer Ausdruck der Beziehungen von fortschreitender Naturerkenntnis und Klassifikation ist die Problematik der so genannten künstlichen und natürlichen Klassifikationssysteme.[120] Diese Unterscheidung ist erst möglich, wenn sich für den jeweiligen Bereich der Natur, dessen Objekte klassifiziert werden, eine wissenschaftliche Beschäftigung mit ihm etabliert hat. Dann hat sich das Denken soweit über die Unmittelbarkeit der Praxis erhoben, dass das Erkennen der Objekte, wie sie unabhängig von den Beziehungen des Menschen zu ihnen existieren, selbst zum Zweck, nicht aber zum Selbstzweck wird. Hier wurzelt die Unterscheidung zwischen *natürlichen und künstlichen Klassifikationssystemen*. Beide werden zu bestimmten Zwecken geschaffen,

119 Ebenda, S. 72.
120 Vgl. G. Terton, Fallunterscheidungen beim Klassifizieren, in: Ws. Zeitschr. d. Karl-Marx-Univ. Leipzig, Ges.- u. Sprachwiss. R., H. 3/1979, S. 275-281; ders., Anmerkungen zum Begriff der natürlichen Klasse, in: ebenda, H. 2/1981, S. 164-167.

aber die einen orientieren sich auf das Wesen, die Natur der Objekte und repräsentieren die Struktur und den Gehalt des Wissens davon, die anderen orientieren sich an praktischen Bedürfnissen im Umgang mit den Objekten inner- und außerhalb der Wissenschaft. Das von Linné aufgestellte Sexualsystem des Pflanzenreiches und sein Programm zur Erarbeitung des natürlichen Systems der Pflanzen sind klassische Beispiele für dieses Verhältnis.

Der Zweck der *künstlichen* Systeme ist unmittelbar pragmatisch, der Zweck der *natürlichen* Systeme ist Erkenntnisgewinn. Für sie gilt W. Hennigs Satz: „Aufgabe einer wissenschaftlichen Systematik ist es nicht, in die Fülle der Einzelerscheinungen Ordnung hineinzubringen, sondern die ihr innewohnende Ordnung zu ergründen und darzustellen."[121] In der Wissenschaftsgeschichte spielt das Erarbeiten natürlicher Klassifikationssysteme eine bedeutende Rolle in der Bewegung der Erkenntnis von der Erscheinung zum Wesen, wie sich z. B. am Klassifikationssystem der Kristalle, am Periodischen System der chemischen Elemente, am auf dem Hertzsprung-Russel-Diagramm gegründeten Klassifikationssystem der Sterne oder am natürlichen System der Organismenarten zeigt.

Im historischen Prozess des Erarbeitens *natürlicher* Klassifikationssysteme ist die Korrelation, der innere Zusammenhang, gewählter Klassifikationsprinzipien mit den übrigen Eigenschaften des Classificandums Indiz und Maßstab der Annäherung einer Klassifikation an ein natürliches System. Weil es bei natürlichen Klassifikationssystemen um das Wesen der zu klassifizierenden Objekte geht, ermöglichen sie in verschiedener Hinsicht *Voraussagen*. Sie bilden die empirische Basis von *Theorien*, die sie in und von ihnen abgebildeten Relationen zwischen den Objekten erklären. Für das Periodische System der chemischen Elemente sei dafür auf die Voraussage von Elementen und ihrer Eigenschaften verwiesen, die zur Zeit der Aufstellung des Systems noch unbekannt waren sowie auf seinen Zusammenhang mit der Quantenmechanik. Das Klassifikationssystem der Kristalle erfasst alle überhaupt möglichen Kristallstrukturen und erbrachte den Nachweis, dass Kristalle aus Atomen aufgebaut sind, die ein Raumgitter bilden. Die mit dem Hertzsprung-Russel-Diagramm verbundene Klassifikation der Sterne führte zu Vorstellungen über die Sternentwicklung. Das natürliche System der Organismenarten ist die empirische Basis der Deszendenztheorie und ermöglicht Voraussagen noch nicht erforschter Strukturen und Verhaltensweisen von Lebewesen.

Als „*künstlich*" werden herkömmlicherweise sämtliche nicht natürlichen Klassifikationen bezeichnet – ein weites Feld. Doch ist ihre Unterscheidung von vornherein nur bei Klassifikationen im Rahmen des wissenschaftlichen Denkens sinnvoll; vorwissenschaftliche Klassifikationen[122] dagegen sind einer Einteilung in „natürli-

121 W. Hennig, Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik, Berlin 1950, S. 7.
122 Vgl. B. Berlin/D. E. Breedlove/P. H. Raven, General principles of classification and nomenclature in folk biology, in: American Anthropologist, 1/1973, S. 214-242; F. Klix,

che“ und „künstliche“ gegenüber indifferent. Was übrigbleibt, dient vor allem zwei Zwecken: einmal dem Zweck, in irgendeiner Hinsicht eine Übersicht zu erhalten, z. B. bei der ökonomischen Klassifikation der Nutzpflanzen nach ihrem Verwendungszweck; zum anderen dem Zweck, vorgefundene Objekte zu identifizieren. Dabei bestehen zwischen natürlicher und künstlicher Klassifikation mannigfaltige Zusammenhänge.

Da keine Wissenschaft ohne Klassifikation auskommt, bedient sie sich künstlicher Klassifikationen, solange sie ihr natürliches Klassifikationssystem nicht erarbeitet hat. Diese schließen Momente natürlicher Klassifikation nicht aus, d. h., Teile künstlicher Klassifikationssysteme können dann in natürliche Systeme übernommen werden, wie sich dies z. B. bei Linnés künstlichem Pflanzensystem ergab. Weiterhin macht kein natürliches Klassifikationssystem künstliche Klassifikationen überflüssig. Ist es vorhanden, muss es für pragmatische Belange umgeformt werden und bildet dafür die Voraussetzung. Bei der Umformung natürlicher in künstliche Systeme ist der Gedankenweg analytisch und deduktiv, nicht synthetisch und induktiv, wie beim Ausgehen der Klassifikation von den Objekten.

Während auf Übersicht abzielende Systeme unmittelbar im Bereich des Wissens und seiner praktischen Umsetzung ihre Funktion haben, vermitteln die der Identifizierung (Bestimmung) vorgefundener Objekte dienenden künstlichen Systeme die Anwendung vorhandenen Wissens auf diese Objekte. Sie dienen der *Diagnose*, jener Erkenntnisoperation, durch die festgestellt, bestimmt wird, zu welcher Klasse eines Systems ein Objekt gehört und welche seine individuellen Merkmale sind, also einem Vergleich mit dem Klassifikationssystem als Maßstab. Ein charakteristisches Muster oder auffälliges Merkmal ist dafür unmittelbar wichtiger als die Kenntnis des tiefsten Wesens der Dinge. Wie der zur Klassifikation führende Vergleich erfolgt die Diagnose vermittels der Beobachtung, die aber nun von vorhandenem Wissen geleitet wird.

Die *Diagnose* ist das individualisierende Gegenstück zur verallgemeinernden Klassifikation, sie zielt aufs einzelne. In der Diagnose haben sich die Klassifikationssysteme zu bewähren. Sie sind mehr oder minder weitgehende Annäherungen an die objektive Realität, die sie erfassen sollen. Ihr Charakter als Annäherung zeigt sich im Auftreten von Ausnahmen, die im System nicht vorgesehen sind. Aus ihnen können der Forschung neue Impulse erwachsen. Die Ausnahme ist die dialektische Negation des Klassifikationssystems, sie setzt den Widerspruch, der bei Aufbewahrung des vorhandenen Wissens die Erkenntnis der Mannigfaltigkeit und ihre begriffliche Bewältigung weiter vorantreibt.

Während Wert und Bedeutung künstlicher Klassifikationssysteme darin bestehen, dass sie ihren Zweck erfüllen, gehen *natürliche* Klassifikationssysteme in übergreifende Erkenntniszusammenhänge ein. Für sie gilt:

Erwachendes Denken. Eine Entwicklungsgeschichte der menschlichen Intelligenz, Berlin 1983; C. Levi-Strauss, Das wilde Denken, Frankfurt/M. 1973.

Classificandum		Explanandum	
	→ Classificatum =		→ Explanans
Classificans		Explanatio	

Das Explanandum, das zu Erklärende, ist die mit dem natürlichen Klassifikationssystem aufgedeckte Ordnung in der objektiven Realität, und das Explanans, das Erklärende, sind die Gesetzesaussagen, die zu ihrer theoretischen Erklärung, zu einer erklärenden Theorie führen, z. B. zur Erklärung der im natürlichen System der Organismenarten abgebildeten gradweise abgestuften Mannigfaltigkeit der Organismenarten durch die Evolution der Arten in der Vergangenheit auf sich verzweigenden Wegen (Deszendenztheorie). Damit findet ein Übergang von der empirischen zur theoretischen Stufe des wissenschaftlichen Erkennens statt.

3.2 Messprozess und Größenbildung

In einfachen Naturbeobachtungen werden *qualitative* Unterschiede von Eigenschaften natürlicher Objekte wahrgenommen. Die Wahrnehmung *quantitativer* Unterschiede in Vergleichen setzt qualitativ unterscheidbare Eigenschaften bzw. Merkmale von Objekten voraus, die in sich skalierbar sind. Erst der Übergang zur *messenden Beobachtung* erlaubt der Naturforschung, *mathematische* Hilfsmittel einzusetzen. Gemessen werden stets bestimmte geeignete Größen. Zwar können auch auf der Ebene nichtmessender Beobachtung *Experimente* ausgeführt werden; der Erkenntniswert von Experimenten, in denen die zu beobachtenden Effekte über die Messung entsprechender Größen ermittelt werden, ist jedoch wesentlich größer. Die mit der Zielstellung des Größenvergleichs ausgeführten Messprozesse verkörpern gegenüber einfachen Beschreibungen wahrnehmbarer Unterschiede einen enormen methodischen Fortschritt in der Naturerkenntnis. Erst das Messen von Größen schafft die Voraussetzungen zu der Formulierung objektiv überprüfbarer Gesetzesaussagen und der Integration dieser Erkenntnisse in mathematisierten naturwissenschaftlichen Theorien.

Das *Messen* selbst aber verlangt vorab die begriffliche Fixierung der zu messenden Größen; stellt also einen Prozess dar, der bereits nicht mehr eindeutig der empirischen Ebene der Erkenntnis zuzuordnen ist, weil er *theoretische* Voraussetzungen enthält. Da der Messprozess ein mit realen Messmitteln auszuführender *praktischer* Prozess ist, kann er natürlich auch nicht der theoretischen Ebene der Erkenntnis zugeordnet werden. Dieser Sachverhalt lässt sich methodisch durch den Hinweis auf den *dialektischen* Zusammenhang von *empirischer* und *theoretischer Ebene der Erkenntnis* reflektieren. Er ist allerdings auch als Indiz für die Enge einer derartigen Unterscheidung deutbar. Einen Versuch, diese Enge in einem übergreifenden Programm konstruktiv zu überwinden, stellt das in 3.3. behandelte Konzept *Experiment – Modell – Theorie* dar. Im folgenden geht es zunächst erst einmal um das Verständnis der Dialektik von Größenbildungs- und Messprozessen.

3.2.1 Physikalische Größen und physikalischer Messprozess

Die erste Wissenschaft, in der auf der Grundlage systematischer Größenbestimmungen in Messprozessen die experimentelle und mathematisch-theoretische Methode zu einer Synthese geführt werden konnten, war die *Physik*. Sie galt lange Zeit als der Prototyp exakter Naturwissenschaft und spielt in den Diskussionen um das Wissenschaftsverständnis anderer naturwissenschaftlicher und technischer Disziplinen bis heute eine dominierende Rolle. Da zudem alle gegenwärtig eingesetzten *Messmittel* letztlich *physikalische Effekte* nutzen und nicht absehbar ist, wodurch der Physik in Messprozessen der Rang abgelaufen werden sollte, ist es gerechtfertigt, Größenbildung und Messprozess am Beispiel der Physik abzuhandeln. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die *methodologischen Reflexionen* über dieses seit Mitte des 17. Jahrhunderts mit zunehmendem Erfolg praktizierte methodische Vorgehen bereits ihre eigene Geschichte haben, also auch die heute dazu vertretenen Auffassungen keineswegs Endpunkte beim Verständnis dieses Aspekts der *Dialektik des Erkenntnisprozesses* verkörpern.

Zu den Begründern der Physik der Neuzeit gehört G. Galilei, der in seinen methodischen Auseinandersetzungen mit der Aristotelischen Physik und der scholastischen Naturphilosophie vor allem auf die Bedeutung der *messenden* Naturbeobachtung als Voraussetzung zur Formulierung mathematisierter Naturerkenntnis verwies. Zwar hat auch er experimentiert, die ihm zugeschriebenen Bewertungen der *experimentellen* Methode werden aber in der wissenschaftshistorischen Literatur noch sehr oft empiristisch vereinfachend dargestellt. Galilei wusste, dass die *praktisch ausgeführten* Messungen den *Begriff* der zu messenden Größen schon *voraussetzen*, also kein direkter Weg aus einer theoriefreien Messpraxis zu den theoretischen Begriffen führt. Zugleich erkannte er, dass auch jede Messung mittels entsprechender *Messgeräte* und jede qualitative Beobachtung mittels spezieller Beobachtungsinstrumente (etwa einem von ihm bereits benutzten Fernrohr zur Beobachtung von Himmelskörpern) *theoretische Voraussetzungen* des Funktionierens bezüglich der Geräte und Instrumente macht.

Wir sprechen heute von der *in den Methoden der Naturerkenntnis* enthaltenen *Dialektik* und heben hervor, dass bereits am Ausgangspunkt dieser mit der Physik der Neuzeit entstehenden naturwissenschaftlichen Denkweise eine erstaunliche methodische Klarheit herrschte, die – mit den weiteren naturwissenschaftlichen Erkenntnisfortschritten – zunächst erst einmal allmählich wieder verlorenging. So ist J. Mittelstraß in seiner Einschätzung zuzustimmen, dass ausgerechnet jener Mann, der der Theorie der Mechanik für mindestens zwei Jahrhunderte eine als endgültig erscheinende Gestalt verlieh, in seinen expliziten methodischen Äußerungen zum Teil hinter Galilei zurückging.[123]

Zugleich ist hervorzuheben, dass I. Newton mit seinen Annahmen über das Leistungsvermögen der so erfolgreichen neuen physikalischen Theorie in anderen

123 Vgl. J. Mittelstraß, Neuzeit und Aufklärung, Berlin (West) – New York 1970, S. 300 f.

Erfahrungsbereichen sehr viel vorsichtiger war als jene, die – sich auf diese Theorie berufend – den *mechanischen Materialismus* in den Rang einer verbindlichen Weltanschauung erhoben oder mindestens aber das *physikalische Forschungsprogramm* des mechanischen Materialismus als einzig fruchtbare Perspektive der Physikentwicklung ansahen.[124]

Die gegenwärtigen Diskussionen um den physikalischen Messprozess und den Größenbildungsprozess beziehen sich sehr oft auf die 1887 von H. v. Helmholtz in „Zählen und Messen, erkenntnistheoretisch betrachtet" angestellten Überlegungen.[125] Der Titel dieses Aufsatzes weist programmatisch darauf hin, dass *Zählen* für Helmholtz *dem Messen methodisch vorgelagert* war. Unter der Voraussetzung einer akzeptablen *Theorie des Zählens* sollte die *Theorie des Messens* quantitativer Größen zu einer Anwendung der Theorie des Zählens werden.

R. Rompe und H.-J. Treder verbleiben mit ihrer Schrift „Zählen und Messen" sehr bewusst in dieser Helmholtzschen Tradition und heben mit N. Bohr hervor, dass prinzipiell alle Messgeräte entsprechend den Gesetzen der klassischen Physik arbeiten.[126] Daraus folgern sie, dass es so viele *unabhängige Messmöglichkeiten* geben muss, wie es in der klassischen Physik *unabhängige Größen* gibt und setzen im weiteren die entsprechenden physikalischen Größen voraus. Die *klassische Mechanik* verlangt dann Messvorschriften für die Bestimmung der *Länge von Strecken*, *der Zeitdauer* und der *Massen bzw. Kräfte*. Die *Thermodynamik* ist eine von der Mechanik und der sogleich noch zu behandelnden Elektrodynamik grundsätzlich verschiedene Theorie, die eine neue Größe (*Temperatur oder Entropie*) und ein ihr entsprechendes spezifisches Messverfahren verlangt. Die *Elektrodynamik* betrachtet zwar physikalische Eigenschaften (elektrische Ladung und Feldstärken), die der Mechanik fremd sind, da aber die entsprechenden Gesetze diese Größen mit mechanisch und thermodynamisch messbaren Wirkungen verknüpfen, führt die Elektrodynamik auf *keine* weiteren unabhängigen Messmöglichkeiten.

Innerhalb der *klassischen Physik* lassen sich die Messgeräte universell nicht anders eichen als über *Konventionen* bezüglich der Standards und dem anschließenden Vergleich mit dem jeweiligen Standard. Die Messwerte, also jene zahlenmäßig ausdrückbaren Werte des Vielfachen eines Etalons, sind relative Werte der Quantitäten physikalischer Größen, die auch von den Instrumentalkonstanten abhängen.

Innerhalb der *modernen Physik* (Relativitätstheorie, Quantentheorie und statistische Physik) existieren *vier universelle Naturkonstanten*, auf die M. Planck interessanterweise schon 1899 – also noch *vor* der Entwicklung der Relativitäts- und der Quantentheorie – hingewiesen hat. Diese von nichts anderem mehr abhängi-

124 Vgl. H. Hörz/U. Röseberg (Hrsg.), Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis, Berlin 1981, S. 113 ff.
125 Siehe dazu: H. v. Helmholtz, Philosophische Vorträge und Aufsätze, hg. von H. Hörz und S. Wollgast, Berlin 1971, S. 301-335.
126 Vgl. R. Rompe/H.-J. Treder, Zählen und Messen, Berlin 1985, S. 34.

gen Größen (Lichtgeschwindigkeit, Gravitationskonstante, Wirkungsquantum und Boltzmannkonstante) erlauben absolute Eichungen der Messinstrumente und damit auch absolute Messwerte physikalischer Größen. Die Diskussionen über die Existenz weiterer Naturkonstanten sind nicht abgeschlossen.

Mit der Entwicklung der Relativitätstheorie und der Quantentheorie ist den Physikern deutlich geworden, dass jeder Messprozess ein Element der Subjekt-Objekt-Dialektik im Prozess der Naturerkenntnis darstellt und diese Dialektik für den Messprozess nicht – wie innerhalb der klassischen Physik noch anzunehmen war – auf objektivistisch deutbare Zeigerausschläge von Messgeräten reduziert werden darf, die Auskunft über ein vom Messprozess völlig unabhängiges objektives Naturgeschehen liefern. Diese erkenntnistheoretisch-methodologische Konsequenz der modernen Physik mit ihren weitreichenden philosophisch-weltanschaulichen Implikationen kann erst auf der Ebene der subjektiven Dialektik gründlicher diskutiert werden. In unserem Zusammenhang ist hier lediglich darauf hinzuweisen, um der Illusion vorzubeugen, dass Größenbildungs- und Messprozess ein *vor* der Behandlung der eigentlichen Physik theoretisch und methodisch abschließend zu klärendes Problem darstellen. Genau diese Illusion aber wird gegenwärtig im Rahmen der Protophysik genährt.

3.2.2 Protophysikalische Begründung physikalischer Messgrößen

Die seit Mitte der 60er Jahre unseres Jahrhunderts im Rahmen konstruktivistischer Wissenschaftstheorie vor allem von P. Lorenzen und einigen seiner Schüler entwickelte Protophysik[127] nimmt Anstoß an den methodischen Zirkelschlüssen zur Einführung physikalischer Größen in den gängigen Lehrbuchdarstellungen. Die der Physik methodisch vorgelagerte protophysikalische Theorie verfolgt das Ziel, physikalische Grundgrößen prototypen- und zirkelfrei einzuführen. Sie geht davon aus, dass Physik treiben eine *zielgerichtete* menschliche Tätigkeit ist, deren unterste, nicht weiter hinterfragbare Schicht in den nichtsprachlichen Handlungen der Herstellung von Artefakten (Beobachtungs- und Messgeräte, Experimentiervorrichtungen) besteht. Dieser Artefakte bedient sich der Physiker dann bewusst, um die für seine Wissenschaft spezifischen Erfahrungen zu machen.

Gemäß dem protophysikalischen Programm sind die physikalischen Grundgrößen über operationale Definitionen einzuführen, in denen tatsächlich ausführbare Handlungsanweisungen für die *Herstellung von Messgeräten* zur Bestimmung der jeweiligen Größe gegeben werden. Dabei werden methodisch-bewusst Erfahrungen der *handwerklichen Praxis* vorausgesetzt, wodurch das einem ahistorischen Rationalitätskonzept entspringende wissenschaftstheoretische Programm des Konstruktivismus seine empiristischen Wurzeln zeigt. Die der theoretischen Ebene der Erkenntnis zu-

127 Vgl. P. Janich, Die Protophysik der Zeit, Mannheim 1969; P. Lorenzen, Methodisches Denken, Frankfurt/M. 1973.

gehörigen physikalischen Grundgrößen sollen gemäß dem Prinzip der methodischen Ordnung aus der empirischen Ebene der Erkenntnis gewonnen werden. Das Prinzip der methodischen Ordnung verlangt immer nur solche Handlungen zuzulassen, die vorher bereits begründet wurden.

Die Berufung der Protophysik auf eine theoretisch nicht weiter hinterfragte Handwerkspraxis lässt im Prinzip (wir wollen hier den tatsächlich verwirklichten Grad der Einlösung dieses Programms nicht diskutieren) den angeführten Zirkel vermeiden, dass in Gestalt von Theorien eben jene Größen bereits vorausgesetzt werden, die über die entsprechenden Messoperationen erst eingeführt werden sollen. Faktisch begründet die Protophysik aber zugleich einen neuen Zirkel, ohne diese methodisch zu reflektieren. Die Invarianz bestimmter Handwerkererfahrungen ist theoretisch nämlich nur zu erklären, wenn es objektive Gesetze der Natur gibt. Die aber sind mit den Mitteln der Physik zu erkennen. Somit fließt in das Begründungswissen der Physik implizit bereits ein, was dann selbst schließlich mittels Physik erkannt werden solle.

Die apodiktische Forderung nach Vermeidung jeglicher Zirkelhaftigkeit von Begründungsverfahren lässt sich nicht einlösen oder anders ausgedrückt (mit Hegel gegen Kants transzendentalen Apriorismus): Mit dem Erkennen muss man einfach anfangen. Ontologisierung der so gewonnenen Erkenntnisse sind unzulässig, wenn dabei nicht zugleich die jeweiligen Erkenntnismittel in Rechnung gestellt werden.

Ungeachtet der grundsätzlichen philosophischen Kritik am überzogenen Anspruch des Programms der Protophysik, muss zugleich betont werden, dass die Realisierungsversuche dieses Programms bereits tatsächliche Erkenntnisfortschritte bezüglich des Fundaments der Physik erbracht haben und zukünftig noch zu erbringen versprechen.[128]

Dabei aber entsteht verschiedentlich dann auch der Eindruck, dass alle in physikalische Größengleichungen eingehenden Variablen messbar sein müssen. Die Definition einer Größe setzt gemäß der bisher behandelten Vorstellung deren Messbarkeit voraus. Konstrukte, die – wie etwa die Wellenfunktion der Quantenmechanik – zwar physikalisch interpretiert, aber eben nicht direkt messbar sind, wären demnach keine Größen. Sie spielen jedoch in der modernen Physik eine zunehmende Rolle. Das hat zu einer mit den Intentionen der Protophysik nicht mehr verträglichen Erweiterung des Größenbegriffs und entsprechenden methodologischen Reflexionen geführt.

3.2.3 Erweiterung des Größenbegriffs

Seit den 20er Jahren hat sich vor allem J. Wallot und seine Schule mit der Problematik von Größen und Größengleichungen in Naturwissenschaft und Technik beschäftigt. Dabei wurde insbesondere unter dem Eindruck der modernen Mathematik- und

128 Vgl. Protophysik heute, hg. von P. Janich, in: Philosophia Naturalis, 1/1985, S. 3-156.

Physikentwicklung allmählich das Verständnis der benutzten Formeln als einfache *Zahlenwertgleichungen* überwunden; die Formelzeichen in den Gleichungen wurden zu *Symbolen* für vollkommene physikalische Größen, mit denen man operieren kann, ohne den Anfang an die zu benutzenden Einheiten festlegen zu müssen. Numerische Auswertungen der entsprechenden *Größengleichungen* verlangen die Formelzeichen durch die jeweiligen numerischen Werte und deren Einheiten zu ersetzen. Die Größengleichungen der Physik (und – soweit vorhanden – der anderen Natur- und technischen Wissenschaften) bieten somit ein elegantes mathematisches Verfahren zur Widerspiegelung der *Dialektik qualitativer und quantitativer Zusammenhänge*; sie sind nicht mehr wie die ihnen methodisch vorangegangenen Zahlenwertgleichungen lediglich Widerspiegelungen quantitativer Zusammenhänge.

Zwar findet sich in den Bestimmungen des Größenbegriffs selbst nach wie vor noch die Forderung nach der Messbarkeit der entsprechenden Eigenschaft,[129] die gesamte Theorie der Größengleichungen in ihrer gegenwärtigen Gestalt bleibt aber unverändert, wenn diese Forderung aufgegeben wird und alle Variablen innerhalb mathematischer Gleichungen physikalischer Theorien als Größen behandelt werden. Dabei besagt die neue Interpretation der mathematischen Symbole natürlich noch nichts darüber, ob die entsprechenden Gleichungen selbst gelten. Dies ist nur *physikalisch,* also mit den Mitteln der experimentellen und theoretischen Physik zu entscheiden.

Auf die Möglichkeit, den Größenbegriff in der angegebenen Richtung zu erweitern, verweist W. Reichardt: „Mit physikalischen Größen kann man rechnen, auch ohne daß schon Größenwerte festliegen. Sie werden zunächst durch Formelzeichen als Platzhalter für den Größenwert in die Rechnung eingeführt."[130] Wenn aber „Formelzeichen als Platzhalter für den Größenwert" methodisch erst einmal akzeptiert sind, dann ist auch der Weg frei für die in der modernen Physik konstatierte „Erweiterung des Realitätsbegriffs" mittels eines erfolgreichen Einsatzes der Mathematik.[131] Damit eröffnen sich zugleich neuartige Perspektiven zur konstruktiven Überwindung des Helmholtzschen Programms von Zählen und Messen.[132] Die moderne theoretische Physik arbeitet inzwischen auch mit nichtunterscheidbaren Objekten, ist dabei aber durchaus in der Lage, Wahrscheinlichkeitswerte für Messgrößen über solche Größen zu ermitteln, die selbst nicht unmittelbar messbar sind. Die Abzählbarkeit der Objekte ist nicht länger Voraussetzung zur Feststellung ihrer Messgrößen. Eine der elementaren Möglichkeiten des dem Messprozess nach Helmholtz vorgelagerten Zählprozesses ist für die nichtindividualisierbaren Objekte also gar nicht mehr gegeben.

129 Vgl. W. Reichardt, Gleichungen in Naturwissenschaft und Technik. Größen und Einheiten richtig angewandt, Leipzig 1983, S. 12.
130 Ebenda, S. 13.
131 Vgl. R. Rompe/H.-J. Treder, Zählen und Messen, a. a. O., S. 51.
132 Für die klassische Physik dies bei W. Reichardt, Gleichungen in Naturwissenschaft und Technik, a. a. O., S. 36 ff. überzeugend ausgeführt.

Die in Größengleichungen neben Konstanten und mathematischen Operationssymbolen eingehenden *Größen* stellen Grundbegriffe zur Widerspiegelung objektiver Eigenschaften materieller Objekte auf der Ebene der mathematisierten naturwissenschaftlichen Erkenntnis dar, deren fachwissenschaftlicher und erkenntnistheoretischer Status im Rahmen konkreter Theorien weiter zu klären sind.

3.3 Experiment – Modell – Theorie

Die Beziehungen von Experiment – Modell – Theorie sind wesentlich für das Verständnis von Theorienbildungsprozessen ebenso wie von Prozessen der praktischen Nutzbarmachung theoretischer Erkenntnisse. Der hohe Abstraktionsgrad in vielen naturwissenschaftlichen Theorien, die wachsende bzw. unverminderte Bedeutung der Modellmethode in zahlreichen Bereichen wissenschaftlicher Forschung u. a. m. verlangen die philosophische Vertiefung und Präzisierung unserer Erkenntnisse über die Dialektik des Erkenntnisprozesses.[133]

3.3.1 Die Stellung von Experiment, Modell und Theorie im Erkenntnisprozess der Wissenschaften

Die objektiv-realen Gesetze und Beziehungen können wir in Systemen von Begriffen und dialektischen Bestimmungen dann tiefer und vollständiger erfassen, wenn die Wirklichkeit durch Experimente analysiert, die analysierten Momente durch die theoretische Arbeit synthetisiert und die Systeme von Begriffen ständig erweitert werden, um sie für neue Beziehungen aufnahmefähig zu machen.

Ohne Unterschätzung der Empirie, d. h. der in der praktischen Tätigkeit erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten, die zu intuitiven Einsichten führen kann und damit auch Material für theoretische Untersuchungen liefert: Wesentliche Voraussetzung, um die Wissenschaft für die Praxis effektiv zu machen, ist die *Gesetzeserkenntnis*. Die Empirie liefert nur zeitweilige Vorteile, ist oft an die Fähigkeiten und Fertigkeiten eines einzelnen gebunden und verhindert so die allgemeine Nutzung, die erst durch wissenschaftliche Einsichten möglich wird. Experiment und Theorie sollen daher als zwei wesentliche Pole des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses untersucht werden, in dem die Rolle der Modelle als wesentlicher Entwicklungsform heutiger Wissenschaft zu berücksichtigen ist.

133 Dieser Teil basiert auf im ZI für Philosophie der AdW der DDR erarbeiteten Materialien. Vgl. beispielsweise: Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis, hg. von H. Hörz und U. Röseberg, Berlin 1981; N. Hager/R. Simon/S. Paul/W. Viehbahn/P. Werner, Modelle in der naturwissenschaftlichen Erkenntnis. Mikrofiche, hg. vom Zentralinstitut für Philosophie der AdW der DDR, Bereich philosophische Fragen der Wissenschaftsentwicklung, Berlin 1984.

3.3.1.1 Das Experiment als objektiver Analysator der Wirklichkeit

Mit wissenschaftlichen Experimenten werden bewusst Erscheinungen unter bestimmten Bedingungen organisiert, die ein Moment des Wesens der untersuchten Erscheinungen zeigen, das gedanklich herausgefunden werden muss. Das Wesen des Experiments besteht darin, dass man eine objektive Analyse der Wirklichkeit vornehmen kann, wobei zwischen *experimenteller Methode* und dem *Experiment* als Bestandteil dieser Methode zu unterscheiden ist.[134] Parthey und Wahl heben drei Schritte der experimentellen Methode hervor: Die Gewinnung einer experimentellen Fragestellung aus der zu überprüfenden Hypothese, die Durchführung des Experiments und die Deutung seiner Ergebnisse.[135] Um des Wesen des Experiments deutlicher zu machen, kann diese Einteilung weiter differenziert werden. Die experimentelle Tätigkeit selbst ist eine Einheit von theoretischen und empirischen Elementen des Erkenntnisprozesses. Manche Entdeckung beruht auf der empirischen Tätigkeit des Experimentators und dem theoretischen Verständnis für die erzielten Resultate.

Die Voraussetzung für die Anwendung der experimentellen Methode ist die Aufarbeitung des bisherigen Standes der theoretischen und experimentellen Forschung, um im *ersten* Schritt zur Formulierung der experimentell zu lösenden Problematik und zu prinzipiell durchführbaren Vorschlägen für Experimente zu kommen. Der *zweite* Schritt ist die gedankliche Vorbereitung des konkreten Experiments durch die Festlegung der Konstanten und Variablen, durch die Analyse des Messprozesses und die Auswahl der Geräte. Der *dritte* Schritt besteht im Aufbau des Experiments und in seiner Durchführung. Für das Experiment selbst sind die Fähigkeiten der Experimentatorengruppe entscheidend, die theoretisch vorgeschlagenen Experimente nach ihrer gedanklichen Vorbereitung auch zu realisieren, Schmutzeffekte zu beseitigen und so einwandfreie Daten zu erhalten.

Die genannten Schritte der experimentellen Methode sind subjektabhängig, d. h. durch die Fähigkeiten und Fertigkeiten der Theoretiker und Experimentatoren bestimmt, Fragen an die Natur zu stellen und solche Bedingungen zu schaffen, die eine Antwort ermöglichen. Der Verlauf des Experiments jedoch ist ein objektiver Vorgang, dessen Ergebnis ein Moment des Wesens des zu erforschenden Objektes oder Prozesses offenbart, wenn die subjektiven Voraussetzungen stimmen. Eben deshalb ist das *Wesen des Experiments* die *objektive Analyse der Wirklichkeit*. Mit der Objektivität wird die Subjektunabhängigkeit der Ergebnisse betont. Wohl ist der Ablauf durch Bedingungen bestimmt. Bestimmte Faktoren werden konstant gehalten, um die Veränderung eines Faktors oder eines Komplexes von zusammenhängenden Faktoren bestimmen zu können. Gerade die Änderung dieser Faktoren ist nicht vorherzube-

134 Vgl. H. Parthey/D. Wahl, Die experimentelle Methode in Natur- und Gesellschaftswissenschaften, Berlin 1956.
135 Vgl. ebenda, S. 112 ff.

stimmen Das macht das Experiment zu einem objektiven Kriterium der Wahrheit von Hypothesen. Die Bedingungen, die bewusst zur Modifikation der objektiven Prozesse geschaffen werden, sind die Grundlage der analysierenden Seite des Experiments. Mit ihnen werden aus dem Komplex objektiver Beziehungen bestimmte hervorgehoben. Es handelt sich also um einen durch das erkennende Subjekt bedingten Ablauf des Geschehens, der in seinem Ergebnis objektiv, d. h. subjektunabhängig ist, aber durch die Bedingungen nur ein Moment des Wesens zeigt. Das Experiment als objektiver Analysator der Wirklichkeit, vom Menschen bewusst zur Erkenntnisgewinnung eingesetzt, *zergliedert* objektive Zusammenhänge, lässt wesentliche Seiten hervortreten und hilft so, die Wirklichkeit überhaupt erst zu erkennen. Die Totalität des Geschehens muss differenziert werden oder wie Engels, bezogen auf das Auge, meinte, „ein Auge, das *alle* Strahlen sähe, sähe ebendeßhalb *gar nichts*".[136]

Auswertung der Paten ist der *vierte* Schritt der experimentellen Methode. Dabei werden die durch das Experiment analysierten Momente des Wesens der zu untersuchenden Erscheinung gedanklich hervorgehoben.

Die experimentelle Methode baut auf der Theorie auf. Sie nutzt bisherige theoretische Einsichten in die Beziehungen und Gesetze des zu untersuchenden Bereiches, muss die Theorie des Messprozesses und der verwendeten Geräte berücksichtigen und führt zu einer Belebung der theoretischen Diskussion, indem die analysierten Momente des Wesens selbst zur Synthese drängen.

3.3.1.2 Zum Verhältnis von Experiment und Theorie

Das Wesen der Theorie besteht in der durch den erkennenden Menschen vorgenommenen Synthese analysierter Wesensmomente. Die Theorie ist jedoch nicht einfach eine systematisch geordnete Menge von Aussagen über die objektive Realität. Durch die Zusammenfassung der erkannten wesentlichen Beziehungen und Gesetze zu einem Gesetzessystem mit den entsprechenden Existenzbedingungen ermöglicht sie vor allem die Erklärung objektiv-realer Prozesse. Experiment und Theorie charakterisieren damit zwei Pole im Erkenntnisprozess, nämlich die *objektive Analyse* und die *subjektive Synthese*, womit die aktive, schöpferische Rolle des erkennenden Subjekts bei der Widerspiegelung der objektiven Realität hervorgehoben wird. Durch die Synthese der aus der gedanklichen Analyse experimenteller Daten gewonnenen Momente des Wesens erlangt die *Theorie* ihre Bedeutung als Widerspiegelung der objektiven Beziehungen und Gesetze. Damit vermag sie, die Wirklichkeit vollständiger und tiefer zu erfassen, weil sie das existierende Konkrete, eben den zu untersuchenden Prozess, mit Hilfe der Abstraktion und gestützt auf die experimentelle Methode analysiert, um zum geistig reproduzierten Konkreten zu gelangen, das sich als die Gesamtheit abstrakter Bestimmungen erweist.

136 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26, Berlin 1985, S. 228.

Die Unterschätzung der Theorie ist nach Engels der beste Weg, falschen Theorien zu verfallen. Hinzuzufügen wäre, dass auch die Bedeutung des Experiments für hochentwickelte Theorien wächst. Daher ist ein gutes Experiment von dauernder Bedeutung für die Wissenschaft, weil an ihm die weitere theoretische Forschung orientiert werden kann. Auch mit der Aufstellung neuer Theorien kann das durch das Experiment analysierte Moment des Wesens der untersuchten objektiv-realen Erscheinungen nicht verlorengehen, es kann durch andere erkannte Wesensmomente ergänzt in neue Synthesen eingebaut werden. Jede Theorie beruht auf bestimmten einsichtigen Voraussetzungen, die oft einer empirischen Bestätigung nicht oder nur bedingt zugänglich sind. Diese Voraussetzungen sind ständig kritisch zu überprüfen, ob sie dem erreichten experimentellen Stand noch entsprechen. Die Einsteinsche Kritik an der Auffassung von der Gleichzeitigkeit der Ereignisse zeigte die Bedeutung eines solchen Vorgehens. Das *Theoriengebäude* einer Wissenschaft ist veränderlich und unterliegt der Entwicklung. Gerade deshalb darf die theoretische Forschung nicht unterschätzt werden, weil die Synthese der experimentell analysierten Wesensmomente ohne Beachtung der notwendigen Arbeit an der Theorie mit veralteten Vorstellungen erfolgen kann, die sich aus früheren Theorien eingeprägt haben.

Der Platz der Theorie im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess ist daher nicht nur durch ihre synthetische Funktion bestimmbar. Logik und Mathematik sind wesentliche Hilfsmittel zur Ordnung bzw. Darstellung der theoretischen Aussagen. Mehr noch! Da sich die *Mathematik* mit denkmöglichen formalisierbaren Beziehungen in Systemen mit ideellen Objekten befasst, erfüllt sie im Zusammenhang mit der Darstellung theoretischer Aussagen eine *heuristische Funktion*[137].

Aus den Konsequenzen mathematisch-theoretischer Überlegungen können sich so nichtinterpretierte Ausdrücke ergeben, die neue Experimente stimulieren und auf objektiv-reale Beziehungen verweisen, die bislang noch nicht erkannt waren.

Wie schon betont, wird die empirische Erkenntnis erst durch die Theorie auf die Ebene der systematischen Gesetzeserkenntnis gehoben, die es gestattet, reale Möglichkeiten zur bewussten Um- und Neugestaltung natürlicher und gesellschaftlicher Prozesse zu erkennen. Die theoretische Begründung von Erkenntnissen, der Aufbau und die Auswertung der Experimente, die Theorie der Messung und das theoretische Verständnis der objektiven Beziehungen und Gesetze sind schöpferische Momente der Wissenschaftsentwicklung. Mit der Entwicklung der Theorie wird die Voraussetzung geschaffen, objektive Prozesse auf neue Art und Weise zu beherrschen.

Theoretische Auffassungen bleiben nicht unveränderlich. Sie sind aber um so langlebiger und effektiver, je mehr und gewichtigere experimentelle Ergebnisse, in

137 Vgl. zur heuristischen Funktion der Mathematik, Abschnitt 3.5; siehe auch: H. Hörz, Philosophie und Mathematik, in: Wiss. Zeitschr. der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, 3/4/1982, S. 231-239; H. Bunke, Methodologische Probleme der Anwendung mathematischer Modelle, in: DZfPh, 5/1983, S. 611-620.

denen verschiedene Momente des Wesens analysiert sind, sie stützen. Insofern ist die experimentelle Arbeit wesentliche Grundlage und entscheidende Stimulanz der theoretischen Arbeit. Es ist jedoch notwendig, wesentliche Aspekte der Beziehungen zwischen Experiment und Theorie tiefer zu analysieren. Dazu gehören die Nutzung von Hypothesen und Gedankenexperimenten und vor allem die Anwendung der Modellmethode.

3.3.2 Die Rolle des Modells im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess

Die *Modellmethode* stellt eine Gesamtheit von Regeln, Vorschriften dar, mittels derer der Mensch, seinen zielgerichteten bewussten Umgang mit Modellen im Prozess der Erkenntnis und Beherrschung der Wirklichkeit realisiert. Bezogen auf den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess bedeutet dies: Die Modellmethode ist ein allgemeines System von Regeln zur Bildung und/oder Anwendung materieller oder ideeller Modelle durch ein Erkenntnissubjekt im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess mit dem Ziel der tieferen Erkenntnis bzw. besseren Beherrschung eines materiellen oder ideellen Originals.

Modelle sind – ohne hier ihre Klassifikationen im einzelnen berücksichtigen zu können[138] – materielle oder ideelle (Re-)Produktionen von möglichen und wirklichen Objekten bzw. Prozessen, Eigenschaften, Beziehungen und Funktionen durch ein Erkenntnissubjekt mittels Analogien im weiteren Sinne (Berücksichtigung von Analogie und Homologie)[139] in anderen materiellen oder ideellen Systemen zur Erkenntnis bzw. besseren Beherrschbarkeit des modellierten Originals. Unter dem modellierten Original wird das ursprüngliche Ausgangsobjekt der Untersuchung verstanden, dessen Erkenntnis, möglicherweise praktische Realisierung bzw. bessere Beherrschung (Optimierung, Steuerung, Simulation usw.) Ziel der Nutzung von Modellen ist.

„(Re)Produktion" hat mehrfache Bedeutung. Zum einen ist damit die Repräsentationsfunktion bestimmter ideeller oder materieller Objekte bzw. Prozesse unterstrichen, die der Mensch ihnen auf der Grundlage bestehender Ähnlichkeiten bzw. entsprechend gedanklich widergespiegelter Relationen gibt. Zum anderen können diejenigen Objekte usw., die als Modelle genutzt werden: (a) aus einem Vorrat ideeller Strukturen (Bildvorstellungen, symbolisierte, formalisierte oder mathematisierte Darstellungen) ausgewählt werden; (b) speziell auf der Grundlage vorhandener praktischer Erfahrungen ebenso wie theoretischer Erkenntnis als ideelle Objekte erstellt werden; (c) auch als künstliche materielle Objekte usw. wie z. B. Kalottenmodelle in der Chemie oder (d) natürliche materielle Objekte usw. gewählt werden, die hinsichtlich der

138 Vgl. z. B. V. A. Stoff, Modellierung und Philosophie, Berlin 1969; N. Hager/R. Simon/S. Paul/W. Viebahn/P. Werner, Modelle in der naturwissenschaftlichen Erkenntnis, a. a. O.
139 Vgl. Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis, a. a. O., S. 325 ff.

mit der Modellbildung und -nutzung verfolgten Zielstellung ausgewählt und unter hinreichend genau bestimmbaren bzw. schaffbaren Bedingungen untersucht werden. Das Erkenntnissubjekt – ob nun einzelner Forscher oder eine Wissenschaftlergruppe – wählt bzw. bildet das Modell hinsichtlich bestimmter Zwecke mit der allgemeinen Zielstellung einer tieferen Erkenntnis bzw. besseren Beherrschbarkeit des Originals. Dabei können Fragen der Erkenntnisgewinnung lange Zeit im Vordergrund der Forschung stehen oder aber auch die bessere Steuerung, Handhabbarkeit usw. des Originals.

Der Begriff der Modellierung bezieht sich auf den Umgang mit Modellen, mit den dabei unter den jeweiligen Bedingungen vollzogenen Tätigkeiten, d. h. auf die spezifischen Prozesse der Modellbildung und -nutzung. Er umfasst den konkreten Prozess der Anwendung der Modellmethode durch das Erkenntnissubjekt zum Erreichen angestrebter Ziele.

3.3.2.1 Modell und Widerspiegelung

Die Erkenntnis ist ein einheitlicher Prozess, in dem Erfahrungen durch Verallgemeinerung abgebildet und neue Strukturen und Funktionen durch schöpferische Tätigkeit entworfen werden. „Das Bewußtsein des Menschen widerspiegelt nicht nur die objektive Welt", betonte Lenin, „sondern schafft sie auch".[140]

Ohne die produktiv-schöpferische Funktion des Bewusstseins bei der Modellbildung und -nutzung zu berücksichtigen, kann die Bedeutung der Modellierung insgesamt und auch für den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess nicht erfasst werden. Der Mensch nutzt die Widerspiegelung objektiver Gesetze und Beziehungen, um ideelle Programme seiner Tätigkeit zu entwerfen, in denen seine Ziele bei der praktischen und theoretischen Aneignung der Wirklichkeit enthalten sind. Denkmöglichkeiten werden mit Hilfe von Modellen auf ihre Realisierbarkeit überprüft. Mit Modellen wird der Zusammenhang zwischen verschiedenen Theorien hergestellt, Erkenntnisse werden synthetisiert, um neue Stoffe, Verfahren zu erkennen und neue Systemstrukturen zu gestalten.

Die im Erkenntnisprozess gewonnenen und genutzten ideellen Vorstellungen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Strukturen und speziell ihrer Funktionen in der Erkenntnis. Das hängt vom Grad und der Richtung vorgenommener Abstraktionen ab, ebenso aber auch von den Zwecken, zu denen sie genutzt werden. So werden ideelle Vorstellungen erst zu ideellen Modellen, wenn sie vom Erkenntnissubjekt als „Stellvertreter", Repräsentant für andere materielle oder ideelle Objekte bzw. Prozesse, deren Strukturen, Funktionen usw. herangezogen werden können und dabei direkt der Erlangung neuer Erkenntnisse und der besseren Beherrschung des Ausgangsobjekts der Untersuchung dienen. Eine solche Repräsentationsfunktion findet sich ebenso

140 W. I. Lenin, Philosophische Hefte, in: Werke, Bd. 38, Berlin 1981, S. 203.

auf der Ebene materieller Objekte bzw. Prozesse, wenn die Originale in Modellexperimenten durch andere leichter zu beherrschende, besser zugängliche usw. materielle Objekte, Prozesse, deren Strukturen, Funktionen ersetzt werden. Materielle Modelle, auch wenn sie in Maßstab stofflicher Zusammensetzung nicht mit den Originalen übereinstimmen, können Möglichkeiten für die praktische Realisierung ideell vorweggenommener Vorstellungen bieten oder für die Veränderung, Umgestaltung bereits bestehender aufzeigen. Sie werden herangezogen, wenn aus ökonomischen oder humanen Gründen, wegen zu großer räumlichen Entfernungen, zeitlicher Distanz oder der Zeitdauer Experimente am Original nicht möglich sind. Ein entscheidender Schritt der Modellnutzung ist dann die Übertragung der mittels (ideeller oder materieller) Modelle gewonnenen Erkenntnisse auf das Original.

Von einem Modell kann man also prinzipiell nur sprechen, wenn zugleich bestimmt wird, wovon und wofür es Modell ist, zu welchen Zwecken es der Mensch bildet bzw. wählt und nutzt. Die *Modellvorstellung* ist Grundlage der Auswahl und Bildung von Modellen. Sie ist die *Widerspiegelung* der Beziehungen zwischen Modell und Original.[141] Entsprechend der Originale der Modellierung, der gewählten Wege und Formen der Modellbildung und -nutzung treten bei der Anwendung der Modellmethode unterschiedliche Beziehungen zwischen dem Subjekt der Erkenntnis, dem Modell und dem Original auf.[142] Allgemein kann man sie hinsichtlich ihrer Bedeutung für die *Subjekt-Objekt-Dialektik* wie folgt kennzeichnen:

1. Der Mensch bildet ideelle Modelle materieller Originale; das ideelle Modell wird für bestimmte Stufen der Untersuchung zunächst zum Ersatzobjekt, zum ideellen Repräsentanten, zum ideellen Als-ob-Objekt.[143]

2. Er erstellt materielle (natürliche oder künstliche) Modelle für materielle Originale, also materielle Repräsentanten, Als-ob-Objekte.

3. Er erstellt materielle Modelle für ideelle Originale, verwirklicht ideelle vorweggenommene Entwürfe.

4. Ideelle Modelle werden durch den Menschen für ideelle Originale gebildet. Unter Umständen werden sie sogar wie eine Als-ob-Theorie behandelt.

Untersuchen wir einige Aspekte etwas näher. Man kann *erstens* das Modell als Objektersatz, als Als-ob-Objekt nutzen, um in Modellexperimenten zu neuen Erkenntnissen über das Objekt zu kommen. Hierbei handelt es sich um materielle Originale und materielle Modelle, wobei die theoretische Konstruktion einer Modellvorstellung

141 Vgl. Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis, a. a. O., S. 328 ff.

142 Vgl. K. D. Wüsteneck, Zur philosophischen Verallgemeinerung und Bestimmung des Modellbegriffs in: DZfPh, 12/1963, S. 1514 ff., ohne dass wir der darin vorgenommenen Ausweitung des Subjektbegriffs folgen.

143 Vgl. z. B. H. Hörz, Modelle in der wissenschaftlichen Erkenntnis, in: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften der DDR, 11 G/1978, Berlin 1978.

in der Analogie oder Homologie zwischen Modell und Original (Ausgangsobjekt der Untersuchung) enthalten ist, Voraussetzung für das Aufsuchen von existierenden und als Modell nutzbaren Objekten oder für die Konstruktion künstlicher Modelle ist. Wird *mit dem Modell experimentiert*, so erhalten wir neue Erkenntnisse, die bis zu einer Theorie über das Modell führen können, mindestens aber Widerspiegelungen der Modellstrukturen und Funktionen sind. Damit die über das Modell gewonnenen Erkenntnisse Bestandteil einer Theorie über das Original der Untersuchung werden, ist es notwendig, die Kenntnis der Beziehungen zwischen Modell und Original, d. h. die Modellvorstellung, heranzuziehen, wobei die Bedeutung der Modellerkenntnisse für das Original noch zu überprüfen ist. Beispielsweise ist das der Fall, wenn Erkenntnisse über die Wirkung von Medikamenten aus Tierversuchen zur Behandlung bestimmter Krankheiten beim Menschen genutzt werden sollen. Der Erkenntnisprozess verläuft in diesem Fall von der Modellvorstellung über Experimente am Modell zu theoretischen Erkenntnissen über das Modell, die auf Grund der in der Modellvorstellung widergespiegelten Beziehungen zwischen Objekt und Modell als Widerspiegelung von Objektbeziehungen aufgefasst werden und dennoch zu überprüfen sind. *Zweitens* geht es um die experimentelle *Überprüfung* von schöpferisch konstruierten *Theorien* mit hohem Allgemeinheitsgrad. Hier kann nach einem theoretischen Modell der allgemeinen Theorie gesucht werden, in dem die erkannten gesetzmäßigen Beziehungen unter bestimmten Randbedingungen spezifiziert werden. Unter Umständen führt erst eine Reihe von spezifizierenden Modellbildungen (auch über Nutzung von Gedankenexperimenten) zur möglichen experimentellen Überprüfung. Damit würden sich die Theorie und das genutzte Modell (bzw. eine Modellhierarchie) als Widerspiegelung objektiv-realer Beziehungen erweisen, ohne dass derart der gesellschaftliche Erkenntnisprozess schon beendet ist.

Drittens geht es um die *Überleitung* experimentell geprüfter Erkenntnisse *in die Praxis*. Beispielsweise sind dabei für volkswirtschaftlich und gesellschaftlich bedeutsame komplexe Lösungen nicht nur naturwissenschaftliche Erkenntnisse und technische Konstruktionen zu überdenken, sondern auch soziale, kulturelle und ideologische Voraussetzungen und Folgen zu berücksichtigen. Dabei spielen Modelle auf unterschiedlichen Ebenen und in verschiedenen Zusammenhängen eine Rolle, sei es für Pilotstationen und Planspiele mit verschiedenen Varianten, als anschauliche Modelle für Bauten u. a. oder als mathematische Modelle. Dabei geht es um die theoretische und praktische Synthese von Erkenntnissen zur komplexen Lösung praktischer Probleme. Auch hierbei werden mit Modellen neue Erkenntnisse gewonnen.

Viertens soll auf das Verhältnis von Empirie und Theorie sowie auf die Bedeutung der Modelle als synthetisierter Als-ob-Objekte hingewiesen werden.

3.3.2.2 Stufen der Modellierung

Die *Modellierung* als *Prozess der Modellbildung* und -nutzung weist eine Reihe von miteinander in enger Beziehung stehenden Stufen auf, die jedoch nicht alle in jedem konkreten Modellierungsprozess durchlaufen bzw. unter Umständen arbeitsteilig vollzogen werden.[144]

1. Wird auf der Grundlage vorliegender theoretischer Erkenntnisse und gegebenenfalls praktischer Erfahrungen ein Modell ausgewählt bzw. geschaffen, das in Übereinstimmung mit einer vorausgehenden Modellvorstellung dem angestrebten Ziel entsprechen muss. Auf dieser *heuristischen Stufe* ist oftmals eine Reihe von Arbeitsmodellen möglich, die in der weiteren Arbeit mit den Modellen reduziert wird. Solche Arbeitsmodelle können Varianten der theoretischen Synthese experimenteller Ergebnisse, der Veranschaulichung allgemeiner Theorien oder Repräsentanten für Originale in Modellexperimenten oder bei Computersimulationen sein, erfüllen also sowohl die Funktion von Als-ob-Theorien als auch in den anderen Fällen die von Als-ob-Objekten.

2. Auf der *kognitiven Stufe* wird mit dem Modell gearbeitet, da es notwendig ist, seine Konsequenzen zu untersuchen. Dies geschieht vermittels Modellexperimenten, Computersimulationen, Gedankenexperimenten bzw. durch die Ableitung ihrer mathematischen, logischen oder einzelwissenschaftlichen Konsequenzen.

3. In der eng mit der kognitiven Stufe verbundenen *pragmatischen Stufe* werden die am Modell gewonnenen Erkenntnisse, d. h. unter Umständen die Theorie über das Modell, mit Hilfe der Modellvorstellung auf das Original übertragen, über die Tätigkeit von möglicherweise verschiedenen Gruppen wird dies sehr weit geführt, es kann vom wissenschaftlichen Experiment, der Erstellung von Labormustern über Pilotanlagen bis zur direkten Nutzung in der Produktion führen.

Wichtig ist die Feststellung, dass das Modell dort, wo es das Objekt ersetzt, zu theoretischen Schlussfolgerungen führen kann, die für das Original der Untersuchung nicht unbedingt zutreffen. Jedoch darf die Hervorhebung der Unterschiede zwischen Modell und Original nicht zur Leugnung der im Modell erfassten wesentlichen Beziehungen führen. Dabei handelt es sich um objektiv wesentliche Beziehungen und nicht um subjektive, willkürlich ausgewählte.

4. In der *erklärenden Stufe*, die nicht in allen konkreten Modellierungsprozessen durchlaufen wird, werden die Modelle einschließlich der Folgerungen allgemeineren Vorstellungen wie Theorien, Weltbildern einer Wissenschaft zugeordnet.

144 Zu den Stufen der Modellierung vgl. ausführlicher: N. Hager, Modelle in der Physik (erkenntnistheoretisch-methodologisch betrachtet), Berlin 1982.

3.3.2.3 Modell und Theorie

Modelle können gegenüber Theorien unterschiedliche Funktionen im Theorienbildungsprozess übernehmen:

1. Kann das Modell als *Als-ob-Objekt* das Original der Untersuchung im Theorienbildungsprozess repräsentieren.

2. Können Modelle den Charakter einer *Als-ob-Theorie* erhalten, wenn das für die Theorie wesentliche Gesetzessystem noch nicht bzw. nicht vollständig vorliegt. Oft werden dabei theoretische Ansätze als Modelle und Modelle als theoretische Konzeptionen bezeichnet. Der Erkenntnisweg geht dann vom theoretisch noch nicht erklärten Experiment, meist handelt es sich um eine Gruppe von Experimenten, über die Als-ob-Theorie zur Theorie.

3. Müssen die durch innertheoretische Entwicklungen (in erster Linie des mathematischen Apparates der Theorie) entstehenden abgeänderten oder neuen allgemeinen Theorien durch Modelle *veranschaulicht bzw. interpretiert* werden, was auch für allgemeine Theorien, die auf anderen Wegen entstehen, gilt. Dabei können spezifizierte Vereinfachungen der Theorie diese beispielsweise als konkretere Modelle repräsentieren, die in diesem Fall gleichfalls Als-ob-Theorien darstellen.

4. Können Modelle im Theorienbildungsprozess zum integralen *Bestandteil einer Theorie* werden. Das betrifft auch solche grundlegenden Modelle wie z. B. das Massenpunktmodell der klassischen Mechanik.

Dient das Modell der Theorieninterpretation und der Veranschaulichung der Theorie, so können sich bei der Überprüfung der Theorie Schwierigkeiten unterschiedlicher Art ergeben. Beispielsweise kann die Abstraktheit einer Theorie dazu führen, dass nicht alle semantischen Stufen bis zur objektiven Realität gegangen werden können, weil die bisherigen Kenntnisse dazu nicht reichen oder eine experimentelle Überprüfung auf Grund fehlender gerätetechnischer Grundlagen u. ä. nicht möglich oder zu aufwendig ist. Die Theorie umfasst manchmal nur Teilaspekte komplexerer objektiv-realer Beziehungen, oder nur Teilaspekte der Theorie können mit Hilfe von Modellen überprüft werden bzw. aus humanen Gründen könnten sich im Hinblick auf das zu große Risiko Experimente am Menschen verbieten usw. In den Beziehungen von Experiment, Modell und Theorie erweist sich das Modell als eine wesentliche Entwicklungsform heutiger Wissenschaft, deren Bedeutung nicht unterschätzt werden darf. Die Berücksichtigung der Funktion der Modellierung im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess führt zur Aufdeckung und zur tieferen Erkenntnis dialektischer Beziehungen in diesem Prozess.

Dabei ist festzustellen, dass sich das Schwergewicht der erkenntnistheoretischen und methodologischen Untersuchungen zur Modellproblematik ebenso wie das der Auseinandersetzungen um Fragen der Modellierung auf die philosophische Verallgemeinerung und die weltanschaulich-philosophischen Grundlagen der Untersuchung von *Entwicklungsprozessen*, speziell der gegenwärtigen und künftigen menschlichen

Gesellschaft, der Prozesse der Menschwerdung, die Erstellung von Evolutionsstrategien, die Erfassung von Wissenschafts- und Theorienentwicklung verschoben hat. Weiterhin geht es um Fragen der Modellierung komplexer Systeme, die nicht immer historisch-genetische Aspekte mit einschließt, sowie um die Auseinandersetzung darüber, wie Modelle unter Berücksichtigung moderner Informations- und Forschungstechnologien durch den Menschen zur besseren Beherrschung objektiv-realer Erscheinungen eingesetzt werden können.

3.4 Symbolisierung, Formalisierung, Wissenschaftssprachen und Logik

Formale Sprachen, die dem Vorbild einer lingua characteristica im Sinne von Leibniz folgen, sind erstmals konsequent in der modernen Logik und mathematischen Grundlagenforschung ausgearbeitet worden.[145] Sie liefern die sprachlichen Mittel zum Aufbau von formalen Theorien bzw. zur Formalisierung gegebener Theorien in der Logik und Mathematik. Ihre Verwendung geht aber inzwischen weit über die Grenzen dieser Disziplinen hinaus. So werden sie sowohl in Naturwissenschaften wie der Physik und Biologie als auch in Wissenschaften wie der Linguistik und Philosophie benutzt. Eine wichtige Voraussetzung für den Aufbau formaler Sprachen ist die Symbolisierung.

3.4.1 Symbolisierung

Der Symbolisierungsmethode bedienen sich zahlreiche Wissenschaften, aber auch unabhängig von der Zielstellung, formale Sprachen zu konstruieren. *Symbolische Sprachen* – als Resultat der Anwendung der Symbolisierungsmethode – weisen gegenüber *natürlichen Sprachen* Vorzüge auf, die in der Verwendung eindeutiger Zeichen und exakter Formulierungen sowie in der Kürze und Übersichtlichkeit symbolischer Formen bestehen. Die genannten Vorzüge würden in der Mathematik besonders deutlich. So schreibt man beispielsweise in der Mathematik nicht „Die Differenz der dritten Potenz zweier beliebiger Zahlen ist gleich dem Produkt der Differenz dieser Zahlen mit der Summe der Summanden, von denen der erste das Quadrat der ersten Zahl, der zweite das Produkt der beiden Zahlen und der dritte das Quadrat der zweiten Zahl ist“, sondern unter Verwendung einer geeigneten Symbolik kurz und übersichtlich: $((\forall xy)\ (x^3 - y^3 = (x - . y)\ (x^2 + . y + . y^2))$. Ähnliche Beispiele lassen sich ohne weiteres aus der Physik, Chemie, Ökonomie, Philosophie und anderen Wissenschaften anführen. So lässt sich etwa in der Philosophie die Behauptung „Ein realer Gegenstand existiert im Raum und in der Zeit“ auf folgende Weise symbolisieren: $(\forall\ a)\ (\exists s)\ (\exists t)\ Ets\ (a)$,

145 Vgl. Frege, Begriffsschrift. Eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens, Halle 1879; A. N Whitehead/B. Russel, Principia mathematica, Bde. I-III, Cambridge 1910-1913; D. Hilbert/P. Bernays, Grundlagen der Mathematik, Bde. I, II. Berlin 1934-39.

wobei ∀ und ∃ die Quantoren „alle“ und „einige“, *s* und *t* Raum- bzw. Zeitvariablen sind sowie *E* das Prädikat der Existenz ist. Eine große Bedeutung hat die Verwendung von Symbolen für die Logik. So zeichnet sich die neuere Logik gegenüber der alten bezüglich ihrer Klarheit und Strenge u. a. gerade durch eine stärkere Benutzung von Symbolen aus, und eine strenge Formalisierung der Logik wäre ohne geeignete Symbole gar nicht möglich. Die in der *Logik* verwendeten *Symbole* lassen sich in zwei Gruppen einteilen: 1. Symbole für Variablen und 2. Symbole für Konstanten. *Variablen* haben keine feststehende Bedeutung, ihre Symbole zeigen Leerstellen an, für die eine Konstante eines beliebigen Typs eingesetzt werden kann. *Konstanten*, die für eine gegebene Variable eingesetzt werden können, nennt man Werte dieser Variablen. Wichtige Arten von Variablen in der Logik sind Aussagen-, Individuen-, Prädikaten- und Funktotvariablen, die als Platzhalter für entsprechende Konstanten auftreten. In Logiksprachen wird im allgemeinen zwischen logischen und außer(nicht) logischen Konstanten unterschieden. Während als außerlogische Konstanten solche Zeichen betrachtet werden, deren konkrete Bedeutung für die Logik irrelevant ist, sind logische Konstanten jene Zeichen, die in der Logik mit Hilfe von logischen Regeln in ihrer Anwendung bestimmt werden. Beispiele für außerlogische Konstanten sind Aussagen, Individuen- und Prädikatenkonstanten, die entsprechend Aussagesätze, Eigennamen und Merkmalausdrücke vertreten. Aussagenlogische Konstanten sind beispielsweise die Symbole ~, ∧, ∨, ⊃ und ≡, die entsprechend die aussagenlogischen Verknüpfungsoperationen der Negation, der Konjunktion, der Adjunktion, der Subjunktion und der Bisubjunktion repräsentieren: prädikatenlogische Konstanten sind z. B. der Generalisator (oder Allquantor) ∀, der Partikulariator (oder Existenzquantor) ∃ und das Identitätszeichen ≡.

Logische Symbole lassen sich auch in syntaktische Symbole und semantische Symbole einteilen.

Der hier in groben Zügen charakterisierte Aufbau einer logischen Symbolsprache ist als ein erster Schritt hinsichtlich der Formalisierungsmethode anzusehen, deren Ergebnis die Konstruktion einer formalen Sprache ist (im weiteren werden die Ausdrücke „formales System“ und „formale Sprache“ synonym verwendet.)

3.4.2 Formalisierung

Von der Formalisierung einer Theorie wird in verschiedenen Bedeutungen gesprochen. Unter *Formalisierung* versteht man:

1. ein Abstrahieren vom Sinn der Termini und Sätze einer vorliegenden Theorie mit dem Ziel, deren logische Korrektheit (insbesondere deren Widerspruchsfreiheit) zu untersuchen;[146]

146 Vgl. D. Hilbert P. Bernays, Grundlagen der Mathematik, Bde. I, II; a. a. O.; O. Becker, Grundlagen der Mathematik, München 1956; P. Lorenzen, Metamathematik, Mannheim 1962;

2. die Axiomatisierung einer gegebenen Theorie;[147]

3. den Aufbau eines formalen Systems, das interpretiert eine der vorliegenden äquivalente Theorie ergibt.

Wir wollen unter Formalisierung nur den dritten Fall verstehen. Ein formales System wird auf folgende Weise konstruiert[148]:

1. Es wird die Klasse der Grundzeichen (das Alphabet des formalen Systems) angegeben. Die Klasse der Grundzeichen zerfällt in verschiedene Teilklassen: in Variablen, Konstanten, Hilfszeichen und spezielle Zeichen. Wenn das Alphabet endlich ist, so können die Grundzeichen durch Aufzählung angegeben werden. Ist das Alphabet hingegen unendlich oder sehr groß (praktisch unendlich), so wird es induktiv in der Metasprache des formalen Systems angegeben. Der Begriff „Grundzeichen" muss immer effektiv sein, d. h., es muss von einem beliebigen vorgegebenen Zeichen in einer endlichen Zahl von Schritten entschieden werden können, ob es ein Grundzeichen des Systems ist oder nicht. Eine endliche Folge von Grundzeichen bildet eine Zeichenreihe.

2. Durch bestimmte effektive Regeln wird die Klasse der Terme des formalen Systems definiert, die eine Teilklasse der Klasse der Zeichenreihen bildet. Die Klasse der Terme eines formalen Systems kann insbesondere auch leer sein.

3. Durch bestimmte effektive Bedingungen wird die Klasse der Formeln (manchmal auch „Ausdrücke", „richtig gebildete Formeln" usw. genannt) definiert, die eine Teilklasse der Zeichenreihen bildet. Ist der Begriff des Terms vorher definiert, so wird der Formelbegriff mit seiner Hilfe definiert.

4. Als Teilklasse der Klasse der Formeln wird die Klasse der Axiome angegeben. Ist die Klasse der Axiome endlich, so lässt sie sich durch Aufzählung der Axiome angeben. Ist sie hingegen unendlich, wird sie metasprachlich mit Hilfe von Axiomenschemata angegeben. Die Axiome müssen so angegeben werden, dass es effektiv möglich ist, von einer vorgegebenen Zeichenreihe zu entscheiden, ob sie ein Axiom ist oder nicht.

5. Es wird eine endliche Klasse von Schlussregeln angegeben. Jede dieser Schlussregeln gestattet es, von einer bestimmten endlichen Menge von Formeln, die „Voraussetzungen" genannt werden, unmittelbar zu einer bestimmten Formel, „Folgerung" genannt, überzugehen.

Die Regeln, die die Zugehörigkeit zu den ersten drei Klassen bestimmen, nennt man „Bildungs-" oder „Formregeln" des formalen Systems, die übrigen „Umformungsregeln".

J. A. Petrov, Logische Probleme der Realisierbarkeits- und Unendlichkeitsbegriffe, Berlin 1971; P. S. Novikov, Grundzüge der mathematischen Logik, Berlin 1973.

147 Vgl. S. A. Janovskaja, Metodologičeski problemy nauki, Moskva 1972; A. N. Kolmogorov, Größe, Axiom, Leipzig 1954.

148 Vgl. H. B. Curry, Foundations of Mathematical Logic, London 1963.

Bei der Konstruktion eines formalen Systems wird ferner angegeben, was eine „Ableitung“ und was ein „Beweis“ ist. Eine „Ableitung“ nennt man eine endliche Folge von Formeln aus einer Klasse von Voraussetzungen *V*, wenn jede Formel der Folge entweder ein Axiom ist oder aber nach einer der Schlussregeln des Systems aus vorhergehenden Gliedern der Folge gewonnen wurde. Die letzte Formel einer Folge nennt man „aus der Klasse der Voraussetzungen *V* ableitbar“. Eine Ableitung aus einer leeren Voraussetzungsmenge nennt man einen „Beweis“ („formalen Beweis“) und die letzte Formel eines Beweises eine „beweisbare Formel“ oder ein (formales) „Theorem“. Von entscheidender Bedeutung ist die Tatsache, dass der Beweisbegriff ein effektiver Begriff ist; mit anderen Worten: Von einer beliebig vorgegebenen endlichen Folge von Formeln eines formalen Systems kann in endlich vielen Schritten entschieden werden, ob es sich um einen Beweis handelt oder nicht. Die Frage, ob in einem formalen System für eine beliebige Formel rein mechanisch entscheidbar ist, ob sie ein Theorem ist oder nicht, nennt man „*Entscheidungsproblem*“ des formalen Systems. Es gibt einige formale Systeme, bei denen für eine beliebig gegebene Formel entscheidbar ist, ob sie ein Theorem ist oder nicht. Als Beispiele entscheidbarer formaler Systeme seien die Aussagenlogik, die elementare Theorie der reellen Zahlen, die Euklidische Geometrie und die Theorie der Booleschen Algebra genannt. Das Entscheidungsproblem ist im allgemeinen aber nicht lösbar. A. Church hat bewiesen, dass sogar schon für den klassischen Prädikatenkalkül kein allgemeines Entscheidungsverfahren möglich ist. Auch in der Zahlentheorie gibt es Sätze, die bis heute unentscheidbar sind, z. B. den Fermatschen Satz. Außerdem bewies K. Gödel 1931, dass jedes formale System, das eine Formalisierung der Arithmetik enthält, unvollständig ist, d. h., es gibt Formeln *A*, für die weder *A* noch *nicht-A* in dem formalen System beweisbar ist. Das bedeutet also, dass es wahre Formeln gibt, die in einem solchen formalen System nicht ableitbar sind.

3.4.3 Formalisierung und Wissenschaftssprachen

Die Methode der Formalisierung wird nicht zur Formalisierung eines jeweiligen Wissenschaftsgebietes, sondern zur Formalisierung der jeweiligen *Wissenschaftssprache* verwendet. Wissenschaftssprachen bilden sich durch jeweiligen Zwecken angepasste Reglementierungen und partielle Ersetzungen aus natürlichen Sprachen. In allen Wissenschaften werden besondere Terminologien entwickelt, bei denen der Gebrauch der betreffenden Termini mehr oder weniger streng normiert ist. Neben Ausdrücken aus natürlichen Sprachen werden in Wissenschaftssprachen auch spezielle Symbole verwendet. Eine ausgezeichnete Stellung nimmt in einzelnen wissenschaftlichen Disziplinen der Gebrauch von künstlichen Symbolen ein. Aber auch für diese Disziplinen behalten natürliche Sprachen ihre fundamentale Rolle als universelle Verständigungsmittel.

Bei der Formalisierung von Wissenschaftssprachen geht es im Unterschied zu natürlichen Sprachen nicht um eine adäquate Erfassung der syntaktischen Struktur,

sondern nur um eine Formalisierung des Inhaltes der Wissenschaftssprachen. Der Grad der Formalisierung einzelner Wissenschaftssprachen ist unterschiedlich. Dieser Umstand wird wesentlich beeinflusst durch den Entwicklungsstand der Logik selbst. Aber er hat auch seine Ursachen in den Erfordernissen der jeweiligen Wissenschaften. Es gilt zu klären, inwiefern die Methode der Formalisierung anzuwenden bzw. welcher Teil der Wissenschaftssprache zu formalisieren ist. Vor einem überschwenglichen Optimismus wie vor einer unberechtigten Skepsis gegenüber den Methoden der Formalisierung und Mathematisierung ist gleichermaßen zu warnen. H. Hörz schreibt: „Um es von vornherein zu sagen, ich halte jede Skepsis gegenüber diesen Methoden für falsch, weil sie uns behindert, notwendige Schritte in der Erkenntnis zu tun. Ebenso ist aber auch der übertriebene Optimismus nicht berechtigt, der meint, mit der Formalisierung und Mathematisierung seien alle Probleme gelöst, und der deshalb auf andere Methoden, wie die historische, beschreibende, die qualitative Bestimmung von Zusammenhängen und die philosophische Analyse verzichtet."[149]

An zwei ausgewählten Beispielen soll im weiteren die oben beschriebene Methode zum Aufbau eines formalen Systems exemplifiziert werden[150]. Als erstes wählen wir die Zahlentheorie.

Die elementare Zahlentheorie beschreibt Gesetzmäßigkeiten der natürlichen Zahlen 0, 1, 2 ...; Grundbeziehungen sind die Nachfolgerelation $'$, die Addition $+$, die Multiplikation $\times$. Im *ersten Schritt* werden die Grundzeichen angegeben:

1. Individuenvariablen $x, x_1, x_2, \ldots$;
2. logische Konstanten $\sim, \wedge, \vee, \supset, \exists, \forall$,

(dies sind der Reihe nach der Operator der Negation, Konjunktion, Adjunktion, Subjunktion sowie der Existenz und Allquantor);

3. technische Zeichen (,);
4. spezielle Zeichen $0, \pm, \times, ', \equiv$;

Im *zweiten Schritt* wird die Klasse der Terme definiert:

1. Variable sind Terme, 0 ist ein Term.
2. Sind T_1 und T_2 Terme, so sind auch T_1', $(T_1 + T_2)$, $(T_1 \times T_2)$ Terme.
3. Weitere Terme gibt es nicht.

Im *dritten Schritt* erfolgt die Ausdrucksdefinition.

1. Grundausdrücke sind $T_1 = T_2$, wobei T_1 und T_2 Terme sind.
2. Sind H_1 und H_2 Ausdrücke, so sind H_1, $(H_1 \wedge H_2)$, $(H_1 \vee H_2)$, $(H_1 \supset H_2)$, $(H_1 \equiv H_2)$, $\exists\, x\, H_1$ und $\forall\, x\, H_1$, wobei x eine Variable ist, Ausdrücke.
3. Weitere Ausdrücke gibt es nicht.

Im *vierten Schritt* werden Axiome angegeben. Das Peanosche Axiomensystem P für die Zahlentheorie enthält:

149 Vgl. H. Hörz, Marxistische Philosophie und Naturwissenschaften, Berlin 1974.
150 Vgl. dazu u. a. auch: J. H. Scharf/W. Kämmerer (Hrsg.), Naturwissenschaftliche Linguistik, Halle 1981 (Nova Acta Leopoldina).

1. logische Axiome,
2. Axiome der Identität,
3. spezielle Axiome der Zahlentheorie.

Im *fünften Schritt* werden Schlussregeln angegeben. J. Woodger[151] hat den Versuch unternommen, bestimmte Bereiche der Biologie zu formalisieren. In groben Umrissen wird diese Vorgehensweis im folgenden skizziert. Ein Axiomensystem, das Dinge im allgemeinen betrifft, wird durch die Einführung einiger neuer Grundzeichen und zusätzlicher Axiome für spezielle biologische Begriffe zu einem biologischen Axiomensystem erweitert. Neue Grundzeichen: Org, Y, Zelle, Orgs. Die Deutung dieser Grundzeichen ist folgende:

Org(x): x ist eine organische Einheit (z. B. ein Organ, eine Zeile); Yxy: Die organische Einheit x geht in die organische Einheit y über (z. B. Zellteilung oder Zellvermehrung);

Zelle (x): x ist eine Zelle (Die Zelle wird hier im Unterschied zu den Schichten von Zellen (Schi"Zelle) als ein zeitlich ausgedehntes Ding aufgefasst.)

Orgs(x): x ist ein Organismus.

Unter anderem werden folgende spezielle Axiome angenommen:

A1. Org(x) $\supset$ Ding(x)

Jede organische Einheit ist ein Ding. A2. Yxy $\supset$ Org(x) $\wedge$ Org(y)

Die Glieder von y sind organische Einheiten.

A3. Yxy $\wedge$ ESch(w, x) $\wedge$ ASch(v, y) $\supset$ w $\neq$ v $\wedge$ (Pwv $\vee$ Pwv)

Wenn Yxy, und w ist Endschicht von x, und v ist Anfangsschicht von y, so sind w und v verschieden und entweder w ist Teil von v oder v ist Teil von w.

A4. Zelle (y) $\supset$ ($\exists x$) (Zelle (x) $\wedge$ Yxy))

Für jede Zelle y gibt es eine Zelle x, derart, dass Yxy (d. h. dass y aus x durch Teilung oder Verschmelzung entsteht).

A5. Orgs(x) $\supset$ ($\exists y$) (Zelle (y) $\wedge$ Pyx)

Jeder Organismus hat eine Zelle als (echten oder unechten) Teil.

A6. Orgs(x) $\supset$ Org(x)

Die Organismen sind organische Einheiten.

Die Formalisierungsmethode wird nicht nur in den Naturwissenschaften mit Erfolg angewendet, sondern auch in einigen Gesellschaftswissenschaften und in der Philosophie. Dabei führen logische Untersuchungen nicht immer zum Aufbau von logischen Kalkülen, sondern manchmal nur zur Einführung einzelner Definitionen und logischer Behauptungen, zur Präzisierung der Bedeutung bestimmter sprachlicher Ausdrücke oder zur Formulierung der Anwendungsbedingungen bestimmter Kalküle bei der logischen Analyse der philosophischen Sprache[152].

151 Vgl. J. Woodger, The Axiomatic Method in Biology, Cambridge 1937.
152 Vgl. ausführlicher dazu: E. Dölling, Logik und Sprache. Untersuchungen zum Gebrauch des Existenzprädikates, Berlin 1986.

3.4.4 Formale und natürliche Sprachen

In den letzten Jahrzehnten findet die Formalisierungsmethode in zunehmendem Maße auch in natürlichen Sprachen Anwendung. Mit der logischen Untersuchung natürlich-sprachlicher Ausdrücke wurde in systematischer Weise die logische Analyse natürlich-sprachlicher Phänomene als ein wichtiger Gegenstand der Logik konstituiert.[153] Seit etwa 1970 wurden im engen Zusammenwirken von Logikern, Sprachphilosophen und Linguisten Logiksprachen zur Verfügung gestellt, die die Aufgabe erfüllen sollen, adäquatere Beschreibungsmittel der natürlichen Sprachen zu liefern. Eine wichtige Konstituente für diese Vorgehensweise ist die Entwicklung der *formalen* (*oder logischen*) *Semantik natürlicher Sprachen.* Den Ausgangspunkt für die Ausarbeitung der formalen Semantik bildet die Annahme von Sprachphilosophen wie G. Harman und D. Davidson und von philosophischen Logikern wie R. Montague und J. Hintikka, dass es keinen wesentlichen theoretischen Unterschied zwischen den natürlichen Sprachen und den durch Logiker konstruierten formalen Sprachen gäbe. Charakteristisch für diese Orientierung ist, dass die ursprünglich für Logiksprachen entwickelten Methoden der modelltheoretischen (insbesondere der intensionalen) Semantik in der semantischen Analyse von Fragmenten natürlicher Sprachen verwendet werden. Das Paradigma für diese Entwicklung ist die Montague-Semantik.[154]

Bei der logischen Analyse natürlicher Sprachen spielen insbesondere Fragen eine Rolle, die die Funktionsmechanismen des Spracherwerbs sowie darüber hinaus kognitive Leistungen des Menschen insgesamt betreffen.[155] Die Logik greift dabei auf Ereignisse zurück, die durch die sich zunehmend herausbildenden kognitiven Wissenschaften, wie die kognitive Psychologie, die kognitive Linguistik und Forschungen zur Künstlichen Intelligenz erzielt worden sind. Gleichzeitig stellt sich für die Logik die Frage, welchen spezifischen Beitrag sie bei der Analyse der kognitiven Kapazitäten des Menschen zu leisten vermag.

3.5 Mathematisierung

Die Mathematik gehört nicht zu den Naturwissenschaften, wenngleich ihre Bedeutung für diese unumstritten ist. Auch Mathematisierung, zu verstehen als Prozess eines fortschreitenden Eindringens mathematischer Methoden und Denkweisen in andere wissenschaftlich Disziplinen, reicht über den Bereich der naturwissenschaftlichen Disziplinen hinaus und betrifft potenziell alle Wissenschaften; die Gesellschaftswissenschaften ebenso wie die Technikwissenschaften und unter den Naturwissenschaften jene, in denen bisher kaum oder keine mathematischen Methoden angewandt wurden.

153 Vgl. E. Dölling, Tendenzen in der Logikentwicklung, in: Spectrum, 7/1987, 20 f.
154 Vgl. R. Montague, Formal Philosophy (hg. von R. H. Thomason), New Haven 1974.
155 Vgl. J. Dölling, Philosophisch relevante Probleme der kognitiven Linguistik, in: DZfPh, 8/1987, S. 734-738.

Die Wechselbeziehungen von mathematisierten Naturwissenschaften und mathematischen Disziplinen gehen die Naturwissenschaften nicht allein an. Die großen Erfolge, die das mathematische Denken z. B. der Physik gebracht hat, üben auch einen Einfluss auf alle Bestrebungen einer mathematischen Durchdringung anderer wissenschaftlicher Disziplinen aus, einschließlich der gesellschaftswissenschaftlichen Bereiche. So weist die Mathematisierung in den Natur-, Technik-, Human- und Gesellschaftswissenschaften auf einen der methodischen Brückenschläge zwischen den Wissenschaften hin. Mathematisierung ist eine wichtige Komponente interdisziplinärer wissenschaftlicher Arbeit.

Die *Mathematik* gehört zu den ältesten Wissenschaften überhaupt. Ihr Wesen und ihre Wirkungsmöglichkeiten sind noch immer Gegenstand weltanschaulicher Auseinandersetzung. Dabei spielt die Frage nach dem *Widerspiegelungscharakter* mathematischer Objekte heute eine vorrangige Rolle.[156] Sie schließt als wichtigen Aspekt die Frage nach den Möglichkeiten mathematischer Theorien und Methoden ein, dialektische Zusammenhänge und Prozesse der objektiven Realität zu erfassen.

Die *dialektisch-materialistischen Grundpositionen* zu diesen Fragen haben K. Marx, F. Engels und W. I. Lenin entwickelt. So bemerkte F. Engels im „Anti-Dühring": „Aber wie in allen Gebieten des Denkens werden auf einer gewissen Entwicklungsstufe die aus der wirklichen Welt abstrahierten Gesetze von der wirklichen Welt getrennt, ihr als etwas Selbständiges gegenübergestellt"; so werde die reine Mathematik „nachher auf die Welt *angewandt*, obwohl sie eben dieser Welt entlehnt ist und nur einen Teil ihrer Zusammensetzungsformen darstellt – und grade *nur deswegen* überhaupt anwendbar ist."[157]

Obgleich im 18. Jahrhundert von D. Diderot als schon am Ende ihrer Entwicklung angelangt charakterisiert[158], hat die Mathematik – besonders im 20. Jahrhundert – eine unerhörte Vertiefung ihres wissenschaftlichen Inhalts und eine starke Ausdehnung nach Gebieten, Problemen und praktischen Anwendungen erfahren. Bei den Anwendungen führte die Entwicklung und Ausbreitung der maschinellen Rechentechnik insofern zu einer qualitativ neuen Theorie, als es Computer ermöglichten, mathematische Probleme der Theorie und der praktischen Anwendung zu lösen, die zuvor z. B. schon wegen des Zeitbedarfs für Rechenoperationen oder wegen kombinatorischen Aufwandes für Symbolmanipulationen dem menschlichen Geist unzugänglich waren.

Vergleicht man das heutige riesige Reservoir von mathematischen Theorien und Methoden, die in mehreren hundert Teildisziplinen der Mathematik entwickelt wurden,[159] mit der Gesamtheit der mathematischen Mittel, die bis jetzt für die Lö-

156 Vgl. S. Paul/G. Ruzavin, Mathematik und mathematische Modellierung, Berlin 1986.
157 F. Engels, Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft („Anti-Dühring"), in: MEW, Bd. 20, Berlin 1983, S. 36.
158 Vgl. D. Diderot, Gedanken zur Interpretation der Natur, Leipzig 1976, S. 31 f.
159 So unterscheidet z. B. der Subject Classification Index der Amerikanischen Mathematischen Gesellschaft 60 Gebiete, von denen jedes in durchschnittlich 6 Teilgebiete zerfällt, die jeweils

sung von Aufgaben in den Wissenschaften, der Wirtschaft und in anderen Gebieten eingesetzt werden, so erweist sich die *moderne Mathematik* als ein gewaltiger Vorrat an möglichen Beschreibungsmitteln, der sich noch ständig vergrößert. Der Einsatz mathematischer Mittel für die Lösung praktischer Aufgaben kann letztlich nur in Verbindung mit diesen geklärt werden. Zugleich gibt es aber auch Probleme methodologischer, erkenntnistheoretischer und allgemeiner philosophisch-weltanschaulicher Art, die nicht selten zu verschiedenen Vorurteilen gegenüber einer Anwendung mathematischer Methoden in einem bestimmten Bereich führen.

Das *generelle Ziel von Mathematisierung* besteht darin, die jeweiligen objektiv-realen oder idealen Objekte (Zusammenhänge, Vorgänge, Systeme usw.) mit spezifisch mathematischen Beschreibungsmitteln möglichst adäquat zu erfassen, zu modellieren und abzubilden. Dabei ist Mathematisierung stets an zwei *Grundvoraussetzungen* gebunden: *Erstens* muss ein genügend hoher Entwicklungsstand der betreffenden wissenschaftlichen Disziplin bestehen und *zweitens* eine Entwicklungshöhe der Mathematik, die die notwendigen Beschreibungsmittel bereitzustellen vermag. Jedenfalls hat die Geschichte der Entwicklung von Mathematik und Naturwissenschaften (namentlich Physik) und deren Wechselwirkung diese Vorstellungen bestätigt. So konnten und können mathematische Methoden z. B. erst angewandt werden, wenn das Begriffssystem einer Wissenschaft hinlänglich präzisiert worden ist, was die Vorstellung einschließt, dass sich die Mathematisierung eines Gebiets in typischen Fällen als *dialektischer Wechselprozeß* vollzieht: Die betreffende wissenschaftliche Disziplin (oder eine ihrer Teildisziplinen und Probleme) erlangt in *Begriffs- und Theoriebildung* eine höhere Entwicklungsstufe, wodurch auch die mathematische Forschung neue Denkanstöße erhält. Umgekehrt kann die *relativ selbständige Entwicklung* des *mathematischen Denkens* dazu führen, neue Impulse für die Weiterentwicklung anderer wissenschaftlicher Disziplinen zu geben, um deren Begriffssystem und Theorieansätze zu vervollkommnen.

Trotz der unbestreitbaren und allgemein bekannten Unterschiede zwischen den *natur- und den gesellschaftswissenschaftlichen Disziplinen* kann dieser Prozess (Abweichungen im Detail einschließend) in seiner historischen Dimension in diesen nicht anders verlaufen. Die allgemeine philosophische Rechtfertigung für diese Überzeugung leitet sich aus den Grundvorstellungen von der materiellen Einheit und der Erkennbarkeit der Welt ab, die keine Entwicklungsformen der Materie ausschließt. Zu berücksichtigen sind freilich stets die jeweils historisch begrenzten Erkenntnismöglichkeiten, die nur ein schrittweises Eindringen in eine komplexe Realität gestatten.

wieder in je 6 Untergebiete aufgeteilt werden (vgl. Subject Classifikation Index, American Math. Soc. Providence, Rh. I 1970). Einen inhaltlichen Zugang zum Reich der Mathematik vermittelt z. B. die sowjetische Enzyklopädie der Mathematik (vgl. Matematičeskaja Enciklopedija, Moskva 1977-1985, 5 Bde.). Die Mathematik gleicht nicht dem Ressort in einem Amt der Wissenschaften, sondern ist für sich ein Universum an theoretischen, methodischen und sprachlichen Mitteln, das selbst Fachmathematiker nicht im ganzen zu überblicken vermögen.

So darf es nicht wunder nehmen, wenn die mathematische Beschreibung gerade der komplexesten Erscheinungen – zu denen z. B. die von Bio-, Human- und Gesellschaftswissenschaften untersuchten gehören – die größten Schwierigkeiten bereitet. Dabei ist es trotz des erwähnten gewaltigen Vorrats an mathematischen Mitteln nicht wahrscheinlich, dass für alle in diesen Wissenschaften anzutreffenden wesentlichen Beziehungen und Maßbestimmungen bereits die geeigneten mathematischen Beschreibungsmittel vorhanden sind. Der erwähnte dialektische Wechselprozess, in dem sich Mathematisierung eines Gebiets in typischer Weise vollzieht, hat daher für solche Bereiche besondere Bedeutung. Sie setzt das enge Zusammenwirken von Mathematikern und Fachwissenschaftlern des jeweiligen Gebiets voraus. Wie praktische Erfahrungen (darunter auch Misserfolge) zeigen, kann ein solches Zusammenwirken aber nur erfolgreich sein, wenn die Mathematiker in die fachwissenschaftlichen Probleme genügend tief eindringen und die Fachspezialisten sich zugleich hinlängliche mathematische Kenntnisse erarbeiten und ein tiefes Verständnis für die mathematische Denkweise entwickeln. Nur so kann auch anzutreffenden Erscheinungen von Pseudomathematisierung begegnet werden, die von harmloser Formel- oder Zahlenspielerei bis zu tiefe wissenschaftliche Erkenntnis vortäuschende Scharlatanerie reichen.

Ein wichtiges Ziel der Mathematisierung besteht darin, unser *Wissen* auf dem betreffenden Gebiet zu *präzisieren*, um damit eine effektivere Wirksamkeit in der Praxis zu erreichen. Die durch Mathematisierung erzielbare Präzisierung unserer Kenntnisse drückt sich vorrangig darin aus, dass es adäquate mathematische Methoden gestatten, die jeweils spezifische Einheit von qualitativen und quantitativen Bestimmungen genauer zu erfassen. In diesem Sinne ist die durch Mathematisierung erreichbare Präzisierung mit einer *Konkretisierung* unseres Wissens verbunden. Dies steht einem noch immer anzutreffenden Vorurteil entgegen, nach dem Mathematik und Mathematisierung vor allem Abstraktion bedeuten und Abstrahieren gerade in den Wissenschaften, die es mit komplexen und hochkomplexen Systemen zu tun haben, zu untauglichen Vereinfachungen und damit falschen Vorstellungen führen müsse. Richtig ist, dass Abstraktionen auf jedem beliebigen Gebiet der Wissenschaften Gefahren in sich bergen. Sie können, wenn sie falsch sind, von der Wirklichkeit fortführen. Umgekehrt spiegeln aber richtige Abstraktionen – und darauf freilich kommt es an – „die Natur tiefer, richtiger, ***vollständiger*** wider", wie dies Lenin ausdrückte.[160] Auch in der Mathematik und bei der Mathematisierung hat die dialektisch-materialistische *Methode des Aufsteigens vom Abstrakten zum Konkreten* ihr Wirkungsfeld.[161]

Es gibt aber noch eine Reihe weiterer Vorbehalte gegenüber der Anwendung mathematischer Beschreibungsmittel und Denkweisen in Bereichen, in denen sie bisher wenig oder gar nicht eingesetzt worden sind. So ist es keineswegs eine prinzipielle

160 Vgl. W. I. Lenin, Philosophische Hefte, in: Werke, Bd. 38, a. a. O., S. 160.
161 Vgl. D. Wittich/K. Gößler/K. Wagner, Marxistisch-leninistische Erkenntnistheorie, Berlin 1978, S. 475 ff.

Schranke für Mathematisierung, wenn in einer Wissenschaft *qualitative* Besonderheiten von Strukturen und Prozessen eine ausschlaggebende Rolle spielen. Deshalb ist es auch unerlässlich, sich von der falschen Vorstellung zu trennen, vermöge Mathematik nur eine – gelegentlich sogar als äußerlich gesehene – quantitative Seite der objektiven Realität zu erfassen. Freilich ist die quantitative Seite der Erscheinungen alles andere als äußerlich. Noch wichtiger aber ist, dass nicht nur die quantitative Seite ebenso zum Wesen der Erscheinungen gehört wie die qualitative, sondern dass *zwischen dem Qualitativen und dem Quantitativen* in Gestalt des *Maßes* eine untrennbare *Einheit* besteht. Diese aus unserer dialektisch-materialistischen Weltsicht folgenden Tatbestände werden von führenden Fachleuten verschiedener Wissenschaftsgebiete immer wieder bestätigt.[162] Die Mathematik beschäftigt sich sowohl mit einer quantitativen Analyse qualitativer Beziehungen als auch mit der qualitativen Analyse quantitativer Beziehungen. Dies schließt die Vorstellung ein, dass die Mathematik auch Gebiete umfasst (wie z. B. Mengenlehre, Topologie, mathematische Logik, Algorithmentheorie, Spieltheorie), dem Wesen nach mit qualitativen Beziehungen beschäftigen. Aber qualitative Analysen treten in allen traditionell als rein quantitativ verstandenen Gebieten der Mathematik auf (wie etwa bei Problemen der Lösbarkeit von Gleichungssystemen, dem Verhältnis unterschiedlicher Lösungsmengen zueinander, ihrer Eindeutigkeit usw.).

Unter den verschiedenen Vorurteilen gegenüber der Anwendung mathematischer Methoden in manchen Disziplinen ist die Vorstellung besonders hinderlich, dass es die Mathematik angeblich nicht gestatte, *dialektische Beziehungen und Prozesse* zu erfassen, wie sie wesentlicher Untersuchungsgegenstand der verschiedenen Bio-, Human- und gesellschaftswissenschaftlichen Disziplinen sind. Zu diesem Thema hat es in der Vergangenheit – auch in der nun immerhin vierzigjährigen Geschichte der Philosophie in unserem Lande – viele Diskussionen gegeben, in denen kontroverse Standpunkte vertreten wurden.[163] Zugleich haben diese Diskussionen zu gültigen Resultaten geführt, die durch die internationale Praxis des inzwischen weiter fortgeschrittenen Mathematisierungsprozesses überzeugend bewiesen wurden. Jedenfalls muss man sich im klaren sein, dass mit den Mitteln der Mathematik sehr wohl auch dialektische Beziehungen der objektiven Realität erfasst werden können. Die bereits erwähnte Einheit von quantitativen und qualitativen Bestimmungen ist *eine* solche dialektische Beziehung. Entsprechendes gilt aber für Bewegungsprozesse, für dialektisch widersprüchliche Beziehungen, für Evolution und für den Umschlag quantitativer Veränderungen in qualitative. Die in der philosophischen und fachwissenschaftlichen

162 Vgl. A. G. Granberg, Modellierung der sozialistischen Wirtschaft. Theoretische und methodologische Probleme, Berlin 1981, insbes. S. 56 f.
163 Vgl. H. Liebscher, Georg Klaus zu philosophischen Problemen von Mathematik und Kybernetik, Berlin 1982, insbes. S. 38 ff.

Literatur dazu vorliegenden Belege können hier nicht explizit vorgeführt werden.[164] Dabei dringt die Mathematik auch mit ihrer Fortentwicklung tiefer in dialektische Zusammenhänge ein, wie die mathematische Ausarbeitung der Beziehungen zwischen Notwendigkeit, Möglichkeit, Wahrscheinlichkeit und Zufall in Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematischer Statistik zeigt.[165]

Es lassen sich verschiedene Aspekte und unterschiedliche Formen der Mathematisierung unterscheiden. Eine allgemein anerkannte Klassifizierung hierzu gibt es bisher nicht. Ein wichtiger Aspekt und eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Bedingung für die Mathematisierung ist die *mathematische Symbolisierung*.[166] Sie ist eine wesentliche Voraussetzung für den Aufbau mathematisierter Theorien und ganzer mathematisierter Wissenschaften. Eine nur notwendige Bedingung für Mathematisierung ist sie, weil neue Erkenntnisse erst gewonnen werden können, wenn die mathematische Symbolisierung so erfolgt, dass das System der Symbole den Regeln eines problemadäquaten mathematischen Formalismus unterworfen ist. Andernfalls entartet ein Versuch zur Mathematisierung rasch zu bloßem Spiel mit Symbolen.

Zu den wichtigsten Formen der Mathematisierurig gehört die *mathematische Modellierung*.[167] Sie ist heute eine der effektivsten Methoden für den praktischen Einsatz mathematischer Mittel zur Lösung wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Aufgaben. Ihre Entwicklung ist eng mit der der maschinellen Rechentechnik verbunden. Es gibt Formen der mathematischen Modellierung (wie z. B. verschiedene Simulationsverfahren, Methoden der statistischen Modellierung u. a.), die *nur* durch den Einsatz von Rechnern praktikabel gemacht werden können. Unscharfe Konzepte und Methoden spielen dabei eine zunehmend größere Rolle.[168]

Mathematische Modellierung ist als Spezialfall von Modellierung generell anzusehen, allerdings nicht als irgendein Spezialfall; oft wird sie als die wichtigste Art der

164 Von der umfangreichen in- und ausländischen philosophischen Literatur zu diesem Thema sei erwähnt: H. Hörz, Marxistische Philosophie und Naturwissenschaften, Berlin 1974, insbes. S. 242 ff.; ders., Philosophie und Mathematik. Festvortrag anlässlich der Eröffnung des IX. Internationalen Kongresses über Anwendungen der Mathematik in den Ingenieurwissenschaften Juni 1981, in: Wiss. Zeitschr. der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar 3-4/1982, 231-239; R. Thiel, Quantität oder Begriff? Der heuristische Gebrauch mathematischer Begriffe in Analyse und Prognose gesellschaftlicher Prozesse, Berlin 1967; ders., Mathematik – Sprache – Dialektik, Berlin 1975.

165 Vgl. H. Hörz, Zufall. Eine philosophische Untersuchung, Berlin 1980.
[Siehe auch: http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/philosophie.html]

166 Vgl. Abschnitt 3.4.1.

167 Vgl. Abschnitt 3.3.2; H. Hörz/M. E. Omeljanovskij, Experiment – Modell – Theorie, Berlin 1982.

168 Vgl. z. B.: M. Peschel, Modellierung für Signale und Systeme, Berlin 1978; ders., Ingenieurtechnische Entscheidungen, Berlin 1980.

Modellierung in modernen wissenschaftlichen Untersuchungen betrachtet. Es gibt verschiedene Vorschläge für eine Klassifizierung mathematischer Modelle. So wird z. B. zwischen gegenständlich-mathematischen Modellen und logisch-mathematischen Modellen unterschieden. Da aber jedes gegenständlich-mathematische Modell (z. B. die verschiedenen, wissenschaftshistorisch interessanten mechanischen Modelle einfacher ökonomischer Zusammenhänge) heute auf einer Rechenanlage simuliert werden kann, die ein entsprechendes logisch-mathematisches Modell realisiert, darf man sich wohl ohne Beschränkung der Allgemeinheit der Betrachtung auf diese konzentrieren. Logisch-mathematische Modelle (sie werden oft schlicht mathematische Modelle genannt) sind die wichtigste Art von Zeichenmodellen, die mit den wissenschaftssprachlichen Mitteln der Mathematik und Logik ausgedrückt werden. Im Sinne der philosophischen Grundfrage handelt es sich dabei um ideelle (gedankliche) Modelle, für die dementsprechend ihre Widerspiegelungsfunktion wesentlich ist. Sie wird erfüllt, wenn mathematische Modelle spezialwissenschaftliche Erkenntnisse mit Symbolen in ihren Relationen als Funktionen erfassen und so wesentliche Aspekte der in den modellierten Objekten existierenden Strukturen, Prozesse und Beziehungen adäquat ausdrücken. Das erkenntnistheoretisch Faszinierende dabei ist, dass die mathematische Modellierung kein durch ein einfaches, auch nicht durch ein zyklisches Schema beschreibbarer Prozess ist, sondern ein dialektischer Vorgang. Er hat zwei wesentliche Aspekte: die *Abbildung* einer dialektischen Realität, und diese Abbildung erfolgt in einem dialektischen *Prozess.*

Wirkliche Prozesse – besonders, wenn es sich um solche in den *komplexen* Systemen von Organismen, bei Menschen oder in der menschlichen Gesellschaft handelt – werden durch eine Vielfalt von wechselwirkenden Faktoren bestimmt; von wesentlichen und unwesentlichen, von dynamisch und von stochastisch wirkenden. Eine Hauptschwierigkeit besteht oft schon darin, solche Unterscheidungen zur Grundlage der Auswahl jener Parameter zu machen, die in einem Modell erfasst werden sollen. Es wäre nämlich Pseudodialektik, z. B. die Beziehung von bestimmenden und weniger bestimmenden, von wesentlichen und unwesentlichen Faktoren als ein absolut unveränderliches Verhältnis aufzufassen. Die landläufige Redeweise, nach der kleine Ursachen zu großen Wirkungen führen, kann in solchen Fällen bewahrheiten. Schon die Auswahl der Konstituenten eines Modells kann also problematisch sein. Es ist daher oft notwendig, mehrere Modelle zu untersuchen, zu prüfen, welche Möglichkeiten für die Simulation eines bestimmten Modellentwurfs auf einem gegebenen Rechner bestehen, und nicht selten erfassen *verschiedene* Modelle ein und desselben Prozesses unterschiedliche Seiten. Eine Annäherung an die wirklichen Verhältnisse kann dann nur über eine mehr oder weniger große Zahl von Modellen erfolgen, was die begrenzte Aussagefähigkeit jedes einzelnen Modells einschließt.

Solche Tatbestände, obwohl sie nicht immer explizit reflektiert werden, führen häufig zu dem Einwand, dass mathematische Modelle – soweit sie überhaupt hilfreich sein können – zumindest recht unzulängliche Mittel seien, um komplexe Prozesse adäquat zu erfassen. Dass dies als Pauschalurteil nicht zutreffen kann, widerlegen z. B.

die mit mathematischen Modellen in der Wirtschaftswissenschaft im Verlaufe mehrerer Jahrzehnte erzielten Erfolge. Die Konsequenz aus den tatsächlich bestehenden Schwierigkeiten einer Modellierung hochkomplexer Systeme kann nicht in einem Verzicht auf diese Methode bestehen, sondern nur in deren sachgerechter Anwendung, die die *Dialektik der objektiven Realität* ebenso in Rechnung stellt wie die *Dialektik des Erkenntnisprozesses*. So ist die Kenntnis von Systemgesetzen für komplexe Systeme ein Schritt in Richtung auf die Durchschaubarkeit von Komplexität. Sicher ist Modellbildung nicht dasselbe wie Theoriebildung. Aber in allen Wissenschaften kann *Modellbildung* als Wegbereiter für *Theoriebildung* wirksam werden. Dies ist zugleich einer der Gesichtspunkte, unter denen das Studium des Wechselspiels von Modellbildung und Theorieentwicklung in den Naturwissenschaften, die in dieser Beziehung bereits über einen großen Erfahrungsschatz verfügen (unter ihnen besonders die Physik), für die Bio-, Human- und Gesellschaftswissenschaften sehr lehrreich sein kann.

3.6 Einzelwissenschaftliche Reduktionen und philosophischer Reduktionismus

Die strenge Unterscheidung von einzelwissenschaftlichen Reduktionen und philosophischem Reduktionismus hängt eng mit dem Verständnis des Unterschieds von einzelwissenschaftlicher und philosophischer Verallgemeinerung zusammen und entspricht der durch H. Horstmann vorgeschlagenen klaren Trennung von Denkmethode und Denkweise.[169] Jede *einzelwissenschaftliche Verallgemeinerung* hat zum Ziel, objektive Struktur-, Bewegungs- und Entwicklungszusammenhänge in ihrem Objektbereich aufzudecken und in Form von Regeln, Bedingungen, Gesetzen, Theorien u. ä. zu erfassen, mit einem Wort: die objektive Dialektik ihres spezifischen Objektbereichs zu fassen. Dabei kann sie qualitativ höhere Struktur, Bewegungs- oder Entwicklungszusammenhänge auf niedrigere reduzieren. Sie kann Entwicklungs- auf Bewegungszusammenhänge, Bewegungs- auf Strukturzusammenhänge reduzieren. Alle einzelwissenschaftlichen Mittel und damit auch alle einzelwissenschaftlichen Reduktionen sind sinnvoll, wenn sie zu einem erweiterten Verständnis des untersuchten Objekts, wenn sie zu echtem Erkenntnisfortschritt führen. Auch die marxistisch-leninistische Philosophie benutzt in ihrem Verallgemeinerungsprozess Reduktionen, die sie jedoch sorgfältig als methodologische Hilfsmittel kennzeichnet.

Die *Grenze* einzelwissenschaftlicher Reduktionen liegt da, wo die durchgeführte Reduktion hinter die bereits einzelwissenschaftlich erkannte objektive Dialektik des untersuchten Objekts zurückgeht. *Erkannt* heißt hier auch: die Bedingungen und Grenzen der Reduktion müssen, soweit das vom einzelwissenschaftlichen und philosophischen (!) Wissensstand aus möglich ist, explizit angegeben werden.

169 Vgl. H. Horstmann, Studien zur metaphysischen und dialektisch-materialistischen Denkweise, Berlin 1977, S. 12 ff.; E. Dölling/J. Erpenbeck, Philosophische und einzelwissenschaftliche Verallgemeinerung, in: DZfPh, 2/1978, S. 232-241.

Nehmen wir das Beispiel biologistischer Aggressionstheorien. Selbstverständlich ist eine Untersuchung menschlichen Aggressionsverhaltens unter biologischen Gesichtspunkten möglich und liefert – etwa für die Psychologie – interessante Ergebnisse. Selbstverständlich spielen die biotischen Gegebenheiten des Menschen auch in gesellschaftlichen Auseinandersetzungen eine bestimmte Rolle und können als solche analysiert werden. Der Biologismus aber zielt in eine ganz andere Richtung: Er stilisiert solche biologischen Einzeluntersuchungen zum Wesen menschlichen Aggressionsverhaltens, zu einem grundsätzlichen Bewegungszusammenhang der menschlichen Gesellschaft hoch; er missachtet die Dialektik, reduziert und hilft damit weltanschaulich falsche Anschauungen zu unterstützen bzw. durchzusetzen.

Eine solche Haltung soll hier *Reduktionismus* genannt werden. Sie ist immer – bewusst oder unbewusst – philosophischer Natur, baut oft auf einzelwissenschaftlichen Reduktionen auf, hat in letzter Konsequenz aber stets zum Ziel, diese philosophisch zu verallgemeinern, gibt *falsche* und damit unwissenschaftliche Antworten auf weltanschauliche Fragen. Da es sich um philosophische Verallgemeinerungen handelt, ist das Untersuchungsmaterial meist aus mehreren einzelwissenschaftlichen Reduktionen rekrutiert. So benutzten beispielsweise physikalische Ansätze eine Vielzahl von physikalisch-einzelwissenschaftlichen Reduktionen zur „Begründung". Weltanschaulich wirkungsvoller Reduktionismus – wie der des Positivismus – bleibt aber nicht beim simplen weltanschaulichen Kurzschluss stehen. Er versucht, sowohl aus Reduktionen innerhalb der Struktur-, Bewegungs- und Entwicklungszusammenhange als auch aus Reduktionen wissenschaftlich bereits erkannter dialektisch kategorialer Zusammenhänge eine *systematische* Antidialektik abzuleiten und zu „*begründen*" und damit die weltanschaulichen Grundfragen entweder einseitig zu beantworten oder als Scheinfragen abzutun.

Natürlich existieren einzelwissenschaftliche Reduktion und philosophischer Reduktionismus nicht unabhängig voneinander. Der philosophische Reduktionismus „integriert" Ergebnisse, Hypothesen und Methoden moderner Einzelwissenschaften – etwa der Physik, der Biologie, der Kybernetik, der Sprachwissenschaften und anderer – und insbesondere auch mit diesen verbundene einzelwissenschaftliche Reduktionen; dies tut er aber immer im Hinblick auf *weltanschaulich* relevante Fragestellungen. Dabei wird die materialistische Dialektik missachtet. Reduktionismus orientiert sich an wissenschaftlichen Teilergebnissen, vernachlässigt den Gesichtspunkt des Gesamtzusammenhangs, der Totalität, negiert das Prinzip der Einheit von Logik, Dialektik und Erkenntnistheorie. Insofern kann es auch durchaus zu einer Annäherung an die positivistische Denkweise durch – philosophierende – Einzelwissenschaftler kommen.[170]

Umgekehrt kann der philosophische Reduktionismus restriktiv (aber auch u. U. fördernd) auf die Einzelwissenschaften zurückwirken, indem er richtige oder falsche einzelwissenschaftliche Reduktionen anregt. Daraus ist jedoch nicht der Schluss zu

170 Vgl. M. Buhr, Zur Aktualität der Leninschen Positivismuskritik in: A. Gedö/M. Buhr/V. Ruml, Die philosophische Aktualität des Leninismus a. a. O., S. 46.

ziehen, philosophischer, z. B. positivistischer Reduktionismus wirke generell wissenschaftsfördernd. Auch der dialektische Materialismus bejaht, fordert und fördert einzelwissenschaftliche Reduktionen, fordert aber, sie im philosophischen Gesamtzusammenhang methodologisch richtig zu werten.

Versuchen wir nun, die Formen einzelwissenschaftlicher Reduktionen und philosophischen Reduktionismus grob systematisch zu erfassen.

Die Einzelwissenschaften untersuchen Strukturzusammenhänge, Bewegungszusammenhänge und Entwicklungszusammenhänge in den „Objektbereichen" Natur, Gesellschaft, Erkenntnisprozess und Erkenntnisresultat/Theorie. Damit sind auch prinzipielle *einzelwissenschaftliche Reduktionsmöglichkeiten* zu beschreiben: Es lassen sich *Entwicklungsprozesse* in Natur, Gesellschaft, Erkenntnis, Theorie *auf Bewegungs- oder sogar Strukturzusammenhänge* in diesen „Objektbereichen" reduzieren (z. B. biotische Entwicklung auf die Ordnung biotischer Strukturmerkmale oder Theorienentwicklung auf Theorienabfolge oder Strukturvergleich verschiedener Theorien). Es lassen sich *komplexere* Entwicklungs-, Bewegungs- und Strukturzusammenhänge *auf einfachere*, *weniger komplexe* reduzieren (z. B. gesellschaftliche Bewegung und Entwicklung auf die Bewegung und Entwicklung der Produktivkräfte und Produktionsverhältnisse, oder gesellschaftliche Strukturzusammenhänge auf Substrukturzusammenhänge; Theorien auf Aussagensysteme). Es lassen sich Reduktionen *zwischen den „Objektbereichen"* vornehmen, also beispielsweise Gesellschaftliches auf Natürliches oder beides auf bereits bekannte Fakten und Theorien reduzieren (z. B. das menschlich-gesellschaftliche Aggressionsverhalten auf seine biotischen Komponenten; Modellierung des Weltganzen in Form mathematisierter Weltmodelle). Schließlich sind Reduktionen *innerhalb der „Objektbereiche"* möglich (z. B. Reduktion biotischer oder chemischer Struktur-, Bewegungs- oder Entwicklungszusammenhänge auf physikalische im Bereich Natur; Reduktion gesamtgesellschaftlicher Struktur, Bewegung, Entwicklung auf solche von Gruppen oder Individuen im Bereich Gesellschaft; Reduktion von Struktur, Bewegungs- oder Entwicklungszusammenhängen zwischen Erkenntnisprozessen oder Erkenntnisresultaten in den entsprechenden Bereichen). Alle einzelwissenschaftlichen Reduktionen sind sinnvoll, solange sie zur immer besseren, genaueren, praktikableren Erfassung des Erkenntnisobjekts führen. Sie sind fragwürdig, wenn sie zur Grundlage eines philosophischen Reduktionismus werden oder mehr noch, wenn sie einen solchen zur eigenen Begründung benutzen. *Philosophischer Reduktionismus* kann nur in philosophischen Kategorien und unter Benutzung grundlegender dialektischer Beziehungen erfasst werden. Man kann zumindest *folgende* Formen unterscheiden:

1. Die Dialektik von Allgemeinem, Besonderem und Einzelnem wird auf die Betrachtung von Besonderem und/oder Einzelnem reduziert.

2. Die Dialektik von Ganzem (Totalität) und Teilen wird auf die Betrachtung der Teile oder Summen von Teilen reduziert.

3. Die Dialektik von Wesen und Erscheinung (Phänomene) wird auf die Betrachtung der Erscheinungen (Phänomene) reduziert.

4. Die Dialektik von Qualität und Quantität wird auf die Betrachtung der Quantitäten reduziert.

5. Die Dialektik von qualitativ Höherem und qualitativ Niedrigerem wird auf die Betrachtung von qualitativ Niedrigerem reduziert.

6. Die Dialektik von Komplexem und Einfachem wird auf die Betrachtung des Einfachen reduziert.

7. Die Dialektik von Zukünftigem und Vergangenem wird auf die Betrachtung des Vergangenen reduziert.

Für die *positivistische Denkweise* spielen besonders Reduktionen im Bereich der Erkenntnis eine Rolle, sieht sie doch in ihrer spezifisch aufbereiteten Erkenntnistheorie das wesentlichste philosophische Forschungsgebiet. Es handelt sich insbesondere um folgende *Reduktionen*:

8. Die Dialektik der gesamten Realität und ihrer Widerspiegelung wird auf die Analyse von Empfindungen, von „unmittelbar Gegebenem", die Dialektik des gesamten Wissens von der Welt auf „empirisches Wissen" reduziert („alter" Positivismus); oder aber die Dialektik der Realität und ihre Widerspiegelung wird auf die Analyse der Ergebnisse der Abstraktionen konkreter Prozesse, die Dialektik des gesamten Wissens von der Welt auf „Protokollsätze" auf durch „Intersubjektivität" festgestellte „Sinnesdaten" und „empirisches Wissen" reduziert (Neopositivismus) Das führt zu weiteren Reduktionen:

a) die Dialektik der gesamten Erkenntnistätigkeit wird auf einzelwissenschaftliche Verfahren und Methoden reduziert;

b) die dialektische Beziehung von Philosophie *und* Einzelwissenschaften wird auf die Analyse der Einzelwissenschaften *und* ihrer abstrakten Zeichensysteme reduziert;

c) die Dialektik von Logischem und Historischem wird auf die Analyse des Logischen reduziert;

d) die Dialektik von Theoretischem und Empirischem wird auf die Analyse des nur Empirischen oder des autonom Theoretischen reduziert;

e) die Dialektik von Abbild und Entwurf wird auf die Analyse des empirischen Abbilds oder des autonomen Entwurfs reduziert.

Physik und Biologie und alle von ihnen mehr oder weniger tangierten weiteren Einzelwissenschaften lieferten schon immer ein bevorzugtes Material für positivistische Verallgemeinerungen. Hier hatten einzelwissenschaftliche Reduktionen zuerst ihre wissenschaftsfördernde Kraft bewiesen, hier wurden Methoden und Methodologien erprobt, die positivistische Denker zum Teil mit entwickelt, oder die sie, umgekehrt, in ihr philosophisches Weltbild „integriert" hatten. Viele Neopositivisten hatten umfangreiche physikalische, biologische und mathematische Kenntnisse. Es ist kein Zufall, dass der Physikalismus zu einem Modellfall positivistischer Denkweise wurde.[171] Je mehr die Entwicklung der Wissenschaften und damit auch der Physik

171 Vgl. H. Horstmann, Der Physikalismus als Modellfall positivistischer Denkweisen, Berlin 1973.

und Biologie die objektive Dialektik in jenen Bereichen zum Vorschein brachte, desto öfter zog sich der Neopositivismus auf immer esoterischere Einzeluntersuchungen zur Wissenschaftssprache und -logik zurück, was ihm den Vorwurf nicht nur marxistischer Kritiker eintrug, auf alle wesentlichen philosophischen Fragen keine Antworten zu haben.[172]

Wir wollen hier die innerhalb der nichtmarxistischen Wissenschaftsphilosophie und -theorie verbleibenden neueren Entwicklungen zum Reduktionismusproblem nicht weiter verfolgen, weil dies wiederum das Thema einer umfangreichen eigenständigen Untersuchung sein könnte. Wir werden bei der philosophischen Analyse des Materials der Physik, der Chemie und der Biologie ebenso unausweichlich auf dieses methodische Problem mit seinen weitreichenden weltanschaulichen Folgen stoßen wie bei dem sich daran anschließenden Versuch, den philosophischen Zusammenhang der Bewegungsformen der Materie in einem einheitlichen Weltbild naturwissenschaftlich erfasster Evolutionsabläufe herzustellen. Dabei wird sich dann zeigen, wie die hier postulierten weltanschaulichen Orientierungen auch die naturwissenschaftliche Forschung heuristisch zu orientieren vermögen. Zugleich wird aber auch immer wieder deutlich werden, dass die Unterscheidung von einzelwissenschaftlichen Reduktionen und philosophischem Reduktionismus nur *innerhalb* eines philosophischen Ansatzes zu rechtfertigen ist, der die *Dialektik des Erkenntnisprozesses* und die *subjektive Dialektik* in Rechnung stellt, wenn es um Feststellungen auf der Ebene der *objektiven Dialektik* geht.

172 Vgl. Th. W. Adorno (u. a.), Der Positivismusstreit in der Soziologie, Berlin (West) – Neuwied 1975.

Kapitel III: Dialektik der physikalischen Erkenntnis

Die Engelsschen Ausarbeitungen zur „Dialektik der Natur" entstanden in einer Zeit, in der die Physiker damit beschäftigt waren, dem heute als „*klassische Physik*" bezeichneten Teilgebiet eine *vorläufige Abrundung* zu geben. Von allen damals auftauchenden Problemen (bei Engels genannt: mechanische Begründbarkeit der Thermodynamik; Teilbarkeit der Materie; Natur des Lichts, der Elektrizität und des Magnetismus; Existenz des Äthers u. a.) durfte angenommen werden, dass sie mit entsprechendem Aufwand unter Einsatz der bereits bekannten Hilfsmittel zu lösen sein würden. Zwar waren für einen Dialektiker auch Veränderungen nicht auszuschließen, die *die Physik revolutionieren* mussten (Engels verwies auf die Symmetrie von Attraktion und Repulsion, die weltanschaulich nicht zu akzeptierende „Wärmetodhypothese" u. a.); revolutionäre Veränderungen innerhalb der Physik zu favorisieren, bestand allerdings in den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts noch wenig Veranlassung. Deshalb konzentrierten sich Engels' kritische Ausführungen auf die vom Standpunkt des Dialektikers fragwürdigen philosophischen Folgerungen physikalischer Erkenntnisse.

In Auseinandersetzung mit dem *physikalischen Forschungsprogramm des mechanischen Materialismus* (Versuch, die gesamte Physik auf mechanischer Grundlage aufzubauen) und der Hegelschen Identifikation von Physik und Mechanismus hat Engels bei der Einführung des philosophischen Konzepts der Bewegungsformen der Materie *mechanische* und *physikalische* Bewegungsform unterschieden. Wir gehen heute davon aus, dass die einfachste Bewegung, die mechanische Ortsveränderung in der Zeit, ein Spezialfall der *physikalischen Bewegungsform* ist. Diese genetisch erste und strukturell einfachste Bewegungsform gilt es, in Übereinstimmung mit den neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und den aus der Physikentwicklung ablesbaren Trends im folgenden näher zu charakterisieren.

Die *Dialektik der physikalischen Erkenntnis* spiegelt die *objektive Dialektik der physikalischen Bewegungsform* der Materie wider. Da jede Widerspiegelung die Aktivität des erkennenden Subjekts voraussetzt, ist für Aussagen zur objektiven Dialektik neben der in den Erkenntnisresultaten enthaltenen subjektiven Dialektik die *Dialektik des Erkenntnisprozesses* zu berücksichtigen. Ob dies für den Gesamtbereich physikalischer Erkenntnisse gegenwärtig schon auf der Grundlage eines theoretisch und methodisch einheitlichen Verfahrens realisiert werden kann und – falls dies bejaht wird – wie dabei vorzugehen ist, sind Fragen, die dem weiteren Meinungsstreit unterliegen. Mit den nachfolgenden Ausführungen soll auch der Diskussion zum Zusammenhang von objektiver Dialektik, subjektiver Dialektik und Dialektik des Erkenntnisprozesses konkretes Material zur Verfügung gestellt werden. Bereits die dabei deutlich werdenden Unterschiede im Herangehen an die Dialektik der physikalischen Erkenntnis, erst recht aber die methodischen Unterschiede in der Behandlung der physikalischen, chemischen und biologischen Erkenntnis weisen auf die Dringlichkeit der Diskussion dieses wichtigen Problems der Dialektikforschung hin.

Bei den Ausführungen zur Dialektik der physikalischen Erkenntnis lassen wir uns philosophisch von den Engelschen „Aperçus über die einzelnen Wissenschaften und deren dialektischen Inhalt“ (Mechanik und Physik) leiten, müssen dabei aber inzwischen natürlich auch die revolutionären Veränderungen bedenken, die die *moderne Physik* gegenüber der *klassischen* gebracht hat. Dieses gilt es bereits in Rechnung zu stellen, wenn heute die Objekte, Theorien und Methoden der Physik (1. Abschnitt) philosophisch charakterisiert werden.

Die *klassische Physik* beschreibt mit praktisch hinreichender Genauigkeit alle physikalischen Prozesse mittlerer Dimensionen, sofern Entwicklungsaspekte mit der für sie charakteristischen Historizität und Zunahme an Komplexität ausgeblendet bleiben (2. Abschnitt). Es ist das unbestreitbare Verdienst von Engels, auf die *Notwendigkeit dialektischen Denkens* hingewiesen zu haben, als dieser Bereich noch für die *gesamte* Physik stand und die Physiker Dialektik entweder gänzlich ignorierten oder aber als ein Unterfangen ansahen, das mit ihrem eigenen wissenschaftlichen Unternehmen nichts zu tun hat. Heute kommt es darauf an, die entsprechenden philosophischen Anregungen so aufzugreifen, dass sie das Verständnis der revolutionären Veränderungen innerhalb der Physik erleichtern und zugleich auf Erkenntniszuwachs im Bereich der klassischen Physik orientieren. Dialektik der Physikentwicklung kommt auch darin zum Ausdruck, dass trotz stürmischer Erkenntnisfortschritte der modernen Physik die klassische Physik nicht zu einem für die weitere Forschung belanglosen Gebiet absinkt. Auch die innerhalb der klassischen Physik verbleibenden Forschungsresultate sind Beiträge zur Vertiefung unserer Erkenntnisse über die Dialektik der physikalischen Bewegungsform der Materie.

Ausgehend von physikalischen Prozessen mittlerer Dimensionen, also jenem Ausschnitt der realen Welt, den wir Menschen unmittelbar, wahrnehmend und handelnd, sensorisch und motorisch bewältigen (vgl. II, 3), ist die Physik seit der Jahrhundertwende sehr systematisch in andere Schichten der Materiestruktur vorgedrungen. Sowohl auf ihrem Wege zum Verständnis der *Gesetzmäßigkeiten großräumiger kosmischer Strukturen und Objekte* als auch bei der Erkenntnis der *Gesetze immer elementarerer Mikroobjekte* hat sich gezeigt, dass eine Veränderung der räumlichen und zeitlichen Dimensionen weit mehr bedeutet als nur die quantitative Zu- oder Abnahme entsprechender Parameter. Die Untersuchung kosmischer Strukturen verlangt den Übergang zur *Relativitätstheorie*; Elementarteilchen sind ohne Relativitäts- und Quantentheorie völlig unverständlich. Struktur und Prozessdenken führen in der *Kosmologie* mit Notwendigkeit zum Entwicklungsdenken; die gegenwärtigen kosmologischen Modelle bedürfen auch der Erkenntnis der Elementarteilchentheorie (3. Abschnitt). Die *Quantentheorie* führt auf Einsichten in die Dialektik der physikalischen Erkenntnis, welche ungeachtet aller praktischen Anwendungserfolge dieser Theorie noch bis heute teilweise kontrovers diskutiert werden (4. Abschnitt).

Zum Zeitpunkt der Niederschrift der Engelsschen „Dialektik der Natur“ konnte davon ausgegangen werden, dass *innerhalb* der mechanischen und der physikalischen Bewegungsform der Materie der Entwicklungsaspekt zunächst erst einmal vernachlässigbar ist und beide Bewegungsformen sich möglicherweise weder im mikroskopisch

Kleinen noch in kosmischen Maßstäben grundsätzlich von dem unterscheiden, was für Objekte mittlerer Dimensionen gilt. Inzwischen gehört die Einsicht, auch innerhalb der physikalischen Bewegungsform der Materie die Dialektik quantitativer und qualitativer Unterschiede in Rechnung stellen zu müssen, zu den überzeugenden Belegen für die heuristische Fruchtbarkeit des Engelsschen Konzepts der Dialektik der Natur. Weltanschaulich noch weitaus bedeutender aber ist die sich aus diesem philosophischen Konzept ergebende Frage nach der Möglichkeit *Physikalischer Rahmentheorien von Evolutionsprozessen*.

Wenn die verschiedenen Bewegungsformen der Materie in einem historisch-genetischen Zusammenhang stehen, dann muss in entwicklungstheoretischer Perspektive zwangsläufig gefragt werden, wie die Entstehung und Entfaltung der höheren Bewegungsformen aus der einfachsten *physikalisch* möglich ist. Dieser Fragestellung nähern sich die Theorien der *Selbstorganisation* und *Evolution* (5. Abschnitt). Sie stellen ein Forschungsfeld dar, aus dem auch neue Einsichten in den strukturellen Zusammenhang qualitativ unterschiedener Bewegungsformen erwachsen.

Die Selbstorganisations- und Evolutionstheorien verkörpern im Gegensatz zu den Theorien der relativistischen und der Quantenphysik augenblicklich keine abgeschlossenen Theorien. Es ist nicht einmal klar, ob Ziele der jeweiligen Theorieentwicklungsprozesse auch in diesen Fällen *Prinzipientheorien* sind oder aber ob es hierbei zur Herausbildung eines *neuartigen Theorietyps* kommen wird. Die philosophischen Untersuchungen sehen sich jedenfalls nicht mit einer abgeschlossenen Etappe der Theorienentwicklung konfrontiert, sondern reflektieren einen stürmisch verlaufenden Prozess, an dessen Ausgangspunkt unter anderem der von Engels hervorgehobene Widerspruch zwischen der vom 2. Hauptsatz der Thermodynamik behaupteten Energieentwertung durch Zufall bzw. Abbau von Strukturen und den durch die Erfahrung gestützten Aussagen über Bildung und Aufbau von Strukturen steht.

Unsere Ausführungen zur Dialektik der physikalischen Erkenntnis verdeutlichen, dass es heute ein *Netz relativ abgeschlossener physikalischer Theorien* gibt, wobei jede dieser Theorien über ihre charakteristischen *Begriffssysteme*, *Gesetzesaussagen* und *Bedingungsgefüge* verfügt. Mit den Mitteln der dialektischen Methode sind sowohl die einzelnen physikalischen Theorien und Theorieansätze als auch die Beziehungen zwischen ihnen weiter zu untersuchen. Aus den Tendenzen des Zusammenwachsens physikalischer Teiltheorien zu integrativen Theorien und den in der jüngsten Vergangenheit zunehmenden Versuchen, komplexe Systeme in ihrem gesetzmäßigen physikalischen Verhalten zu verstehen, erwachsen den philosophischen Untersuchungen viele neue Aufgaben, von denen nachfolgend nur einige wenige exemplarisch angesprochen werden können.

Wir gehen davon aus, dass auch die *Totalität dialektischer Beziehungen in der Physik* nur schrittweise zu erfassen ist und vor der Synthese zu einem wissenschaftlich kritisierbaren Gesamtentwurf *systematische und historische Detailanalysen* unverzichtbar sind. Das Ziel der weiterführenden Forschungen auf diesem Gebiet sollte ein methodisch und theoretisch einheitliches Verfahren sein, über die Dialektik der Erkenntnispro-

zesse und -resultate immer wieder solche Einsichten in die objektive Dialektik der Natur zu erlangen und zu vertiefen, die in der naturwissenschaftlichen Forschung von heuristischem Wert sind und als korrigierbare philosophische Verallgemeinerung aus der jeweils historisch überschaubaren Physikentwicklung weltanschaulich handlungsorientierenden Charakter beanspruchen.

1. Objekte, Theorien und Methoden der Physik

Während die Physik in der Antike *die* Naturwissenschaft war, ist sie heute *eine* von mehreren Naturwissenschaften. Während diese Wissenschaft ursprünglich noch das natürliche Geschehen in seiner gesamten Komplexität zum Gegenstand hatte, beschränkt sie sich inzwischen auf ganz bestimmte Aspekte natürlichen Geschehens. Dazu wird die *Komplexität* der entsprechenden Objekte und Prozesse mit spezifischen Mitteln (Theorien und Methoden) *reduziert*. Nach wie vor aber ist die Physik eine Wissenschaft, die keinen Bereich der Natur ausklammert. Alle in der Natur vorfindbaren und alle vom Menschen herstellbaren Objekte können im Prinzip zu Gegenständen physikalischer Untersuchungen werden. Wir gehen davon aus, dass physikalische Gesetze das kosmische Geschehen beherrschen, für alle unter irdischen Bedingungen ablaufenden Prozesse gelten und weder in menschlichen Handlungsabläufen noch in lebenden Organismen verletzt werden können. Zwar wird der nur noch mit einem entsprechenden Aufwand erfahrbare Mikrokosmos von anderen Gesetzen beherrscht als der Makrokosmos und das kosmologische Geschehen; er wird aber bis hinein in die dank stürmischer Fortschritte der experimentellen Hochenergiephysik immer kleiner werdenden Raum- und Zeitgebiete durchgängig von *physikalischen* Gesetzen bestimmt.

Da im folgenden die Dialektik der physikalischen Erkenntnis vom Standpunkt des *gegenwärtigen* Physikverständnisses untersucht werden soll, ist es im Hinblick auf die Dialektik des Prozesses physikalischen Erkenntnisgewinns zweckmäßig, wenigstens vorab kurz auf den *historischen* Wandel des Physikverständnisses einzugehen.[1] Diese Betrachtungen knüpfen unmittelbar an die im 1. Abschnitt des Kapitels II vorgestellten Veränderungen des Natur- und Erkenntnisbegriffs an.

1.1 Zur Geschichte des Physikverständnisses

In der Antike und im Mittelalter wurde unter *Physik* jene Wissenschaft verstanden, die das „natürliche Verhalten" realer Objekte erklärt. Das Wort „Physik" stand für „*Wissenschaft von der Natur*", „Naturwissenschaft" (ein Begriff, der erst im 19. Jahrhundert geprägt wurde). Die so bezeichnete Wissenschaft hatte nach Aristoteles die Komplexität *irdischer* Naturvorgänge zu nehmen, wie sie sich sinnlich-wahrnehmbar darstellen. Sie

1 Vgl. F. Krafft, Das Selbstverständnis der Physik im Wandel der Zeit, Weinheim 1982; B. I. Spasskij, Istorija fiziki, Moskva 1977.

sollte keine Aussagen über die idealen Vorgänge des Himmels enthalten; Himmel und Erde waren streng getrennt. Nur die Vollkommenheit idealen Geschehens ließ sich mittels mathematischer Gesetze erfassen. Auf die Frage, „zu welchen Gegenständen der Untersuchung die mathematischen gehören", antwortete Aristoteles unmissverständlich: „Offenbar nicht zu den diesseitigen; denn diese enthalten nichts von dem, was in den mathematischen Wissenschaften untersucht wird."[2] Deshalb konnte zwar die *Astronomie als mathematisierte Wissenschaft* betrieben werden, *nicht* aber die *Physik*, „weil alle Untersuchungen dieser sich nur auf Dinge beziehen, die in sich einen Anfang der Bewegung oder Ruhe enthalten".[3] Sie hatte es mit Qualitäten zu tun und war auf *Erklärung der Ursachen* natürlichen Geschehens ausgerichtet. Bis weit in die Scholastik hinein schied die Möglichkeit zur *Quantifizierung von Qualitäten* völlig aus.

Zu einem wesentlichen gedanklichen Fortschritt kam es, als die Nominalisten im 15. Jahrhundert versuchten, Intensität und Veränderung (über die Fläche oder der Zeit) solcher Eigenschaften wie Farbe, Wärme, Güte und Liebe, aber auch der Geschwindigkeit von Ortsveränderungen geometrisch zu beschreiben. Somit war der bis dahin als *Kunst* geltenden *Mathematik* eine völlig neue Wirkungsphase erschlossen. Wenig später wurde – zunächst gedanklich und später auch praktisch – dem ebenfalls als Kunst geltenden *Experiment* wachsende Bedeutung für die Naturerkenntnis zuerkannt.

Die Physik der Neuzeit, weltanschaulich an die Aufhebung der aristotelisch-scholastischen Trennung von Himmel und Erde gebunden, verdankt ihre Entstehung der *Synthese von experimenteller und mathematisch-theoretischer Methode.* Von entscheidender Bedeutung waren dafür die Arbeiten Galileis und Newtons. Das Wirken dieser beiden Gelehrten aber darf nicht isoliert betrachtet werden; sie setzten mit ihrem Werk bei allen revolutionären Neuerungen auch historische Traditionen fort und waren zugleich in die geistigen Auseinandersetzungen ihrer Zeit verstrickt.[4]

Wir gehen davon aus, dass die *Physik der Neuzeit* im wesentlichen im 17. Jahrhundert entstanden ist. Dabei vergessen wir gelegentlich, dass noch etwa anderthalb Jahrhunderte vergehen sollten, bevor das Aristotelische Physikverständnis endgültig überwunden werden konnte. Historische Detailanalysen sind erforderlich, um der Widersprüchlichkeit dieses Prozesses gerecht zu werden. In manchen wissenschaftshistorischen Darstellungen wird unter Hinweis auf den hohen Entwicklungsstand der Newtonschen Mechanik und die Fortschritte der analytischen Mechanik im 18. Jahrhundert fälschlicherweise der Eindruck erweckt, als sei damit der methodische Standard der Physik dieser Zeit ins-

2 Aristoteles, Die Metaphysik, Berlin 1871, Bd. II, Elftes Buch. Erstes Kapitel, S. 124.
3 Ebenda, S. 125.
4 Vgl. J. D. Bernal, Die Wissenschaft in der Geschichte, Berlin 1967; G. Freudenthal, Atom und Individuum im Zeitalter Newtons. Zur Genese der mechanistischen Natur- und Sozialphilosophie, Frankfurt/M. 1982; A. Koyré, Von der geschlossenen Welt zum unendlichen Universum, Frankfurt/M. 1969; R. K. Merton, Science, Technology and Society in Seventeenth Century England, New York 1970; U istokov klassičeskoj nauki, Moskva 1968.

gesamt charakterisiert. Zur Herausbildung jener Wissenschaftsdisziplin aber, die im 19. Jahrhundert dann paradigmatisch für den Wissenschaftstyp der industriellen Revolution stehen sollte, war *mehr* notwendig als allein ein hoher Entwicklungsstand der Mechanik.

So wie der Begriff der Physik historischen Wandlungen unterlag, hat sich auch der Begriffsinhalt von „*Mechanik*" grundsätzlich verändert. In der Antike und im Mittelalter behandelte die Mechanik künstlich vom Menschen mit entsprechenden Hilfsmitteln bewirkte Bewegungen. Der fallende Stein oder gar die Bewegung von Himmelskörpern gehörten nicht dazu, waren sie doch „natürliche", der Natur gemäße Bewegungen. Alle vom Menschen bewirkten Bewegungen aber galten gemäß der Aristotelischen Tradition als *wider die Natur* gerichtete Prozesse. Nachdem von Kopernikus, Descartes, Galilei u. a. herausgearbeitet worden war, dass die Erde ein Himmelskörper wie andere auch ist und alle diese Körper sich gemäß *universellen* Gesetzen bewegen, bestand der methodisch entscheidende Schritt für die *Neufassung des Mechanikbegriffs* darin, auch die vom Menschen bewirkten Bewegungen nicht länger als „gegen" die Natur gerichtete zu betrachten. Galilei lehnte die damals weit verbreitete Auffassung ganz entschieden ab, der Mensch könne mittels der von ihm geschaffenen Technik die Natur „überlisten". Nach Galilei vermag der Mensch die von ihm gewünschten Wirkungen prinzipiell nur zu erzielen, weil er der *Natur folgt*.

Dieser *Perspektivenwechsel* von der Kunst, die Natur zu überlisten, zur Fähigkeit, das mechanisch-technisch Bewirkte als etwas der Natur durchaus Gemäßes zu begreifen, war die Voraussetzung, die *Mechanik* als eine „Wissenschaft von der Natur" *neu zu begründen* und somit im Unterschied zu Aristoteles als *Teil der Physik* zu verstehen. Damit aber begann sich auch allmählich der Physikbegriff zu verändern.

Mechanik ist aus heutiger Sicht die erste *mathematisierte Teiltheorie der Physik*. Als aber Galilei seine ganz neue Wissenschaft über einen sehr alten Gegenstand begründete und Newton 1687 dieser Wissenschaft mit „Philosophiae naturalis principia mathematica" eine erste vollendete Form gab, war das Physikverständnis des Aristoteles noch mehr oder minder uneingeschränkt gültig. Danach hatte *Physik* das *natürliche* Geschehen qualitativ zu erklären und durfte dabei *nicht* auf die *idealisierten* Formen der Mathematik zurückgreifen (denn wie sollten diese auf wirkliches, also nicht idealisiertes Geschehen passen?). Newton hat im Titel seines Grundlagenwerks nicht von Physik gesprochen, sondern *mathematische Prinzipien der Naturphilosophie* angekündigt. Damit stellte er sich in die Tradition derer, die *mathematische Beschreibungen* natürlichen Geschehens von *physikalischen Erklärungen* unterschieden.

Die Möglichkeit zur Mathematisierung der Mechanik hatte sich dadurch ergeben, dass mit der neuen Sicht auf das Bewegungsproblem auch die ohne menschliches Zutun ablaufenden Bewegungsänderungen als Folgen des Einwirkens äußerer Kräfte zu fassen waren. Über das Prinzip „actio reactio"[5] lassen sich dann nämlich Größen der Wirkung

5 Das Prinzip von Actio und Reactio, Wechselwirkungsprinzip oder dritte Newtonsche Axiom besagt, dass bei der Wechselwirkung zwischen zwei Körpern jede Aktion (Kraft von Körper A

und der Kräfte miteinander in Beziehung setzen, ohne Angaben über das Wesen von Kräften zu machen. Genauso ging Newton bei der Begründung der theoretischen Mechanik vor. Ohne über die physikalischen Ursachen der Kräfte zu spekulieren, formulierte er eine mathematische Äquivalenzrelation, die die vektorielle Summe aller auf einen Körper wirkenden Kräfte mit der aus Masse und Beschleunigung des Körpers gebildeten Bewegungsgröße gleichsetzte. Außerdem gelang es ihm, wiederum ohne Spekulation über die Ursachen wechselseitiger gravitativer Anziehung aller schweren Massen, jene mathematische Beziehung anzugeben, nach der die Gravitationskraft beliebiger voneinander entfernter Körper zu berechnen ist.

Gemäß dem zu seiner Zeit noch herrschenden Physikverständnis lehnte Newton es ab, die für die Bestimmung seiner kinematischen und dynamischen Bewegungsgrößen fundamentalen Konzepte *Raum* und *Zeit physikalisch* zu untersuchen. Er setzte sie voraus und machte zugleich einschneidende Annahmen hinsichtlich der *mathematischen* Eigenschaften entsprechender physikalischer Größen. Wenn er trotzdem angab, keine Hypothesen zu formulieren, so geschah das vor allem in Auseinandersetzung mit dem Aristotelischen Physikbegriff. Diese Art von Physik lehnte er aus methodischen und theoretischen Gründen ab, war aber wohl wegen der Allmacht der Aristotelischen Tradition noch nicht in der Lage, sein in der Galileischen Tradition stehendes Vorgehen konsequent als *die* neue Art, Physik zu betreiben, darzustellen.

Angesichts der historisch verständlichen methodischen Inkonsistenzen des wissenschaftlichen Neuansatzes zur Mechanik und der zahlreichen Schwierigkeiten, die neue Denkweise konsequent auf andere Erscheinungen (Elektrizität, Magnetismus, Licht, Wärme u. a.) anzuwenden, scheint es nicht sehr verwunderlich, dass der Aristotelische Physikbegriff die physikalische Lehrbuchliteratur auch nach Newton weiterhin stark beeinflusst hat, zumal es damals Physik weder als Ausbildungsrichtung an den Universitäten noch als Beruf gab. Physiker war oder wurde man aus Berufung dank eigener finanzieller Mittel, der Unterstützung reicher Gönner oder der durch Experimentalvorführungen in Salons, privaten Demonstrationsveranstaltungen bzw. auf Volksfesten erzielten Einkünfte. Die im 17. Jahrhundert neugegründeten Akademien verbesserten die Möglichkeiten experimenteller Naturforschung nur langsam. Einfacher gestaltete sich die Aufnahme der neuen theoretischen Erkenntnisse innerhalb der an den Universitäten betriebenen Mathematik; Newtons mathematische Prinzipien der Naturlehre wurden hier relativ rasch zur Kenntnis genommen und insbesondere in Frankreich zu einer Forschungsrichtung weiterentwickelt (*analytische Mechanik*), die zunächst mit der auf Beobachtung und Experiment gestützten Naturforschung nur wenig zu tun hatte.

Die *Physik* war noch weit davon entfernt, eine auf *einheitlichen Prinzipen* beruhende Wissenschaft zu sein. *Descartes* mechanistischer Versuch, eine universelle Naturerklärung zu finden, stieß nicht auf allgemeine Zustimmung. *Newton* hatte lediglich seiner

auf B) gleichzeitig eine gleich große Reaktion (Gegenkraft von Körper B auf A) erzeugt, die auf den Verursacher der Aktion zurückwirkt.

Hoffnung Ausdruck verliehen, dass es dereinst gelingen werde, auch die Beschreibung anderer als der von ihm untersuchten Erscheinungen auf mathematische Prinzipien zurückzuführen. Daran aber war an der Wende vom 17. zum 18. Jahrhundert praktisch noch nicht zu denken. Diese Situation fand ihren Ausdruck in den damals gebräuchlichen Bezeichnungen „physica eclectica" bzw. „physica selsectiva"[6].

Die Physik blieb weiterhin *die* Wissenschaft von der Natur, hielt sich aber nicht länger an ein einzelnes, für die ständig wachsende Fülle der untersuchten Naturerscheinungen zwangsläufig zu enges System. Stattdessen wurde *Methodenvielfalt* propagiert. Die später der Biologie und Mineralogie zugehörigen Fragestellungen wurden im Schoße der Physik aufgegriffen; man beschäftigte sich mit Beobachtung, Vergleich und Klassifikation nach bestimmten Merkmalen. Konstanz der Arten wurde dabei nahezu überall vorausgesetzt. Die auf Detailbeschreibungen hinauslaufenden Ausführungen zur „*Naturgeschichte*" (*historia naturalis*) unterstellten einen Geschichtsbegriff, der Entwicklung noch nicht zu denken vermochte. Das *statische Naturbild des mechanischen Materialismus*, welches entweder unabhängig von der Newtonschen Mechanik (Descartes und Nachfolger) oder aber in philosophisch fehlerhafter Verallgemeinerung der erfolgreichen Newtonschen Mechanik formuliert wurde, blieb nicht konkurrenzlos. Es hatte seine *metaphysische Alternative* in der Idee, dass die konstanten Arten aller Dinge von den Elementen (Feuer, Wasser, Erde, Luft) über die drei Naturreiche (unbelebte Natur, Pflanzen und Tierwelt) sowie den Menschen zu den Engeln und schließlich zu Gott als diskrete Glieder einer *universellen „Seinskette"* hierarchisch aufsteigend miteinander verbunden sind.[7]

Erst allmählich wurden materialreiche *Teilgebiete aus der Physik ausgegliedert*.[8] Den Anfang machte im 18. Jahrhundert die *Naturgeschichte der Lebewesen*; wobei es widerholt Bestrebungen gab, sie wenigstens in Gestalt einer von den Details befreiten „Allgemeinen Naturgeschichte" wieder aufzunehmen. Seitdem es mit der *Physiologie* eine eigenständige „*Physik der Lebewesen*" gab, wurde der Gegenstand der Physik dramatisch eingeschränkt. Im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts war Physik im Selbstverständnis der Physiker eine Wissenschaft von der *unbelebten Natur*. Diese Gegenstandsbestimmung wurde noch bis vor kurzem nahezu uneingeschränkt vertreten. Erst die im 20. Jahrhundert aufgenommenen Untersuchungen der *physikalischen Voraussetzungen zur Entstehung von Lebewesen* und der *physikalischen Grundlagen zur Aufrechterhaltung von Lebensproessen* haben sie wieder aufgehoben.

6 Vgl. H. Schimank, Die Wandlung des Begriffs „Physik" während der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts, in: K. H. Manegold (Hrsg.), Wissenschaft, Wirtschaft und Technik. Studien zur Geschichte, München 1969, S. 454-468; F. Krafft, Der Weg von den Physiken zur Physik an den deutschen Universitäten, in: Berichte zur Wissenschaftsgeschichte, 1/1978, S. 123-162.
7 Vgl. A. O. Lovejoy, The Great Chain of Being. A Study of the History of a Idea, Cambridge – London 1936.
8 Vgl. W. Lepenies, Das Ende der Naturgeschichte. Wandel kultureller Selbstverständlichkeiten in den Wissenschaften des 18. und 19. Jahrhunderts, München 1975.

Mit der Entwicklung der naturgeschichtlichen Geographie, der nicht zur Himmelsmechanik gehörigen Teile der Astronomie, der Chemie und anderer naturwissenschaftlicher Teildisziplinen, die sich nicht auf physikalische Gesetzmäßigkeiten zurückführen ließen, wurde ausgangs des 18. Jahrhunderts der Gegenstandsbereich der Physik weiter eingeengt. Er umfasste *nicht mehr die gesamte unbelebte Natur*, sondern nur noch aufzählbare Teilbereiche dieser. Einen wohl historisch letzten Versuch, den ursprünglich weiteren Physikbegriff zu retten, unternahm A. v. Humboldt mit einer enzyklopädischen Aufbereitung der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse seiner Zeit.[9]

Die Entwicklung der *Elektrodynamik*, der *phänomenologischen Thermodynamik* und der *statistischen Mechanik* haben wesentlich dazu beigetragen, die methodischen Unterschiede bei der Behandlung der mechanischen und anderer physikalischer Erscheinungen abzubauen. Mit den Erfolgen auf den genannten und weiteren Gebieten veränderte sich auch das Physikverständnis. Danach hatte sich diese Wissenschaft auf Beobachtung, Experiment und Theorie zu stützen; statt naturphilosophische Spekulationen zu kultivieren, sollte sie sich der bereits vorhandenen bzw. noch zu entwickelnden mathematischen Hilfsmittel bedienen. Dem sich vor allem im 19. Jahrhundert ausprägenden Verständnis von der *Eigenständigkeit* der außerhalb der Philosophie betriebenen *Physik* kam der Comtesche Positivismus entgegen. Die zur gleichen Zeit begründeten *physikalischen Institute* und die dazu parallel einsetzende *Professionalisierung* der Physik führten – unter den Zwängen der zweiten industriellen Revolution – rasch zu einem hohen theoretischen und methodischen Entwicklungsstand dieser Wissenschaftsdisziplin.

Mit der Herausbildung anderer, außerhalb der Physik betriebener Naturwissenschaften musste es zwangsläufig zu Vergleichen zwischen den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen kommen. Dabei wurde einerseits auf die nichtreduzierbare Spezifik jeder naturwissenschaftlichen Disziplin verwiesen und andererseits immer wieder von einzelnen ihrer Vertreter gefordert, die eigene Wissenschaftsdisziplin nach dem Muster der Physik zu entwickeln. Auch unter Physikern war zeitweilig die Auffassung anzutreffen, dass der naturwissenschaftliche Erkenntnisfortschritt schließlich dazu führen müsste, alle anderen Wissenschaftsdisziplinen in Physik „aufgehen" zu lassen, also letztlich wieder zu der Weite des Gegenstandsbereichs der aristotelischen Physik zurückzufinden.

Seitdem das neue Methodenverständnis der Physik diesen Gegenstandsbereich eingeschränkt hat, gab es – jeweils auf der Grundlage neuer physikalischer Erkenntnisse – eine Reihe mehr oder minder einflussreicher Versuche, entweder anderen Wissenschaften den von der Physik verschiedenen eigenständigen Gegenstandsbereich abzusprechen oder aber alle Naturerscheinungen allein mit physikalischen Prinzipien zu erklären.

9 Vgl. A. v. Humboldt, Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung, 4 Bde., Stuttgart – Tübingen 1845-1858.

Der mit der Entdeckung des *Energieerhaltungssatzes* in der Mitte des 19. Jahrhunderts auf eine physikalische Grundlage gestellte traditionelle naturphilosophische Gedanke von der *Einheit der Natur* hat unter der Vorherrschaft des mechanischen Materialismus das einflussreiche Forschungsprogramm heuristisch gestützt, Naturerklärung letztlich auf mathematisierte Mechanik zu reduzieren. Die Äquivalenz verschiedener Energieformen diente Engels in Auseinandersetzung mit dem mechanischen Materialismus als Beleg, eben diesen philosophischen Reduktionismus weltanschaulich zu attackieren und mit seinem Konzept der dialektisch verbundenen Bewegungsformen einen philosophischen Gegenentwurf vorzulegen. Da er sich bei seinem Versuch, die Fruchtbarkeit *materialistischer Dialektik* für die Naturwissenschaften und die Mathematik zu erweisen, auf die *idealistische Dialektik* Hegels stützte und dieser unter dem Eindruck des mechanischen Materialismus „Mechanismus" unkritisch mit Physik identifiziert hatte, kehrte Engels zu der in der Physik seiner Zeit bereits überwundenen Trennung von Mechanik und Physik zurück. Diese Unterscheidung aber war zugleich als *philosophische Stellungnahme gegen das physikalische Forschungsprogramm des mechanischen Materialismus* zu verstehen. Damit ging Engels über den Erkenntnisstand der damaligen Physik hinaus.

Erst die Physikentwicklung des 20. Jahrhunderts hat den definitiven Nachweis erbracht, das Physik sehr viel mehr als Mechanik ist. Wenn man heute die mechanische Bewegungsform der Materie als eine besondere innerhalb der *physikalischen Bewegungsform der Materie* hervorheben will, dann sind dazu die modernen physikalischen Erkenntnisse zur Materiestruktur in Rechnung zu stellen. Objektivierbare Ortsveränderungen identifizierbarer isolierter Objekte im mit Messlatten ausmessbaren Raum und in der mit Uhren messbaren Zeit sind nur innerhalb bestimmter räumlicher und zeitlicher Maßstäbe möglich. Damit hat es die materiell-gegenständliche Auseinandersetzung des Menschen mit der Natur in der handwerklichen und industriellen Praxis zu tun, sofern sie nicht gezielt auf mikrophysikalische Objekte – wie etwa in der Kerntechnik, der Mikroelektronik oder den Biotechnologien – einwirkt. Bei der physikalischen Behandlung großräumiger kosmologischer Strukturen sind Modifikationen der Mechanik erforderlich, auf die im Zusammenhang mit der allgemeinen Relativitätstheorie einzugehen sein wird. Wir zählen die Galilei-Newtonsche Mechanik (ebenso wie die Maxwellsche Elektrodynamik und die phänomenologische Thermodynamik) zur *Physik mittlerer Dimensionen* und sprechen nicht mehr von der der physikalischen vorgelagerten „mechanischen Bewegungsform der Materie".

Der Reduktionismusversuch des mechanischen Materialismus war in der Physikgeschichte keinesfalls der letzte. Aus den Erkenntnisfortschritten der Thermodynamik und der Quantentheorie wurde verschiedentlich der Schluss gezogen, die *Chemie* sei „angewandte Physik" und entbehre somit eines eigenen Gegenstandsbereichs.[10]

10 Vgl. H. Primas, Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism, Berlin (West) – New York 1981.

Selbstorganisationstheorie, Quantenphysik und Informationstheorie werden heute noch verschiedentlich angeführt, um die Illusion zu nähren, die Biologie werde letztlich in Physik und Chemie aufgehen. Wer dann noch der Chemie ihren eigenen Gegenstand abspricht, verficht eben jenen Physikalismus, den bereits der „Wiener Kreis" vergeblich zu etablieren gesucht hatte.[11]

Wir hatten hervorgehoben, dass der *weltanschauliche Reduktionismus* nicht mit *methodisch berechtigten reduktionistischen Fragestellungen* zu verwechseln ist, wie weit man mit den Mitteln der Physik in der Chemie bzw. mit denen von Physik und Chemie in der Biologie kommt. Weltanschaulicher Reduktionismus ist auf der Grundlage des dialektisch-materialistischen Konzepts von den *Bewegungsformen der Materie* zu vermeiden. Dazu aber müssen zunächst erst einmal in Verallgemeinerung gegenwärtiger naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und deren Geschichte die voneinander *unterschiedenen* Bewegungsformen in ihrer jeweiligen Spezifik untersucht werden. Auf der Basis der dabei gewonnenen Einsichten lassen sich dann schließlich deren *dialektische Zusammenhänge* aufzeigen.

Uns tritt die Physik der Neuzeit als eine Wissenschaftsdisziplin entgegen, in der die experimentelle und die mathematisch-theoretische Forschungsmethode zu einer fruchtbaren Synthese geführt sind. Sie vermag mit ihren spezifischen, der Weiterentwicklung fähigen Mitteln prinzipiell *alle* in der Natur vorfindbaren Objekte und Prozesse zum Gegenstand zu machen, weil die physikalische die entwicklungsmäßig einfachste Bewegungsform der Materie ist. Bei der physikalischen Untersuchung natürlicher Objekte und Prozesse aber treten noch nicht alle objektiven Gesetze von Struktur, Bewegung und Entwicklung auf. Die physikalischen Gesetze legen die Gesetze der höheren Bewegungsformen nicht eindeutig fest; die Gesetze der höheren Bewegungsformen dürfen jedoch physikalischen Gesetzen nicht widersprechen (Persistenz[12] physikalischer Gesetze)[13]. Physik allein reicht also nicht aus, um die Komplexität des Naturgeschehens adäquat zu erfassen. Sie vermag Rahmentheorien für die anderen Wissenschaften zu liefern und jenes Möglichkeitsfeld näher zu bestimmen, innerhalb dessen sich die Gesetze der höheren Bewegungsformen der Materie bestimmen lassen,[14] wobei – wie die Ausführungen der nachfolgenden Kapitel zeigen werden – auch dieses Bild nicht als statisches zu nehmen ist, sondern in seiner Dialektik weiter ausgearbeitet werden muss.

11 Vgl. H. Horstmann, Der Physikalismus als Modellfall positivistischer Denkweise, Berlin 1973; B.-O. Küppers (Hrsg.). Leben = Physik + Chemie? München – Zürich 1987.
12 Lat. persistere „verharren", allgemein: Etwas mit dauerhafter Beschaffenheit oder Beharrlichkeit, das langfristige Fortbestehen einer Sache.
13 Vgl. R. Rompe/H.-J. Treder, Über die Einheit der exakten Wissenschaften, Berlin 1982.
14 Vgl. W. Ebeling, Zur Stellung der Physik im System der Wissenschaften. Kritik des Physikalismus, in: M. Buhr/H. Hörz (Hrsg.), Naturdialektik – Naturwissenschaft, Berlin 1986, S. 119-131.

1.2 Philosophische Reflexionen zur Physik der Neuzeit

Die Herausbildung der Physik der Neuzeit und der Gesamtprozess ihrer Entwicklung bis heute werden von weltanschaulichen, methodischen und erkenntnistheoretischen Reflexionen jener begleitet, die diesen Prozess vorangetrieben haben bzw. vorantreiben. Die Urteile der Physiker sind dabei aber nur teilweise von ihrem eigenen Tun bestimmt; sie bringen auch philosophische Auffassungen der jeweiligen Zeit zum Ausdruck. Im folgenden soll der Versuch unternommen werden, einige allgemeine Tendenzen dieser Reflexionen festzuhalten, die in den Ausführungen zu Teilbereichen der physikalischen Erkenntnis dann weiter zu untersetzen sind.

J. Mittelstraß hat den Nachweis erbracht, dass *neuzeitliches Denken* mit der *neuzeitlichen Wissenschaft Physik* anhebt, wobei keineswegs etwa ansonsten autonomes philosophisches Denken auf ein autonomes physikalisches Denken reagiert habe: „Neuzeitliches Denken ist vielmehr seinem eigenen Selbstverständnis nach, und dabei nicht nur einem älteren Philosophiebegriff folgend, immer beides, Physik (d. h. exakte Naturwissenschaft) und Philosophie, Physik nur eine andere Art, Philosophie zu treiben."[15] Dies stimmt bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts ziemlich uneingeschränkt. Unter dem Einfluss des Comteschen Positivismus gibt es aber seit dieser Zeit einflussreiche Versuche, die Beziehungen der Physik zur Philosophie radikal aufzukündigen. Zur gleichen Zeit setzen in der Philosophie antiaufklärerische Tendenzen ein. Diese widersprechen der Mittelstraßschen Feststellung, neuzeitliches Denken sei „seiner Tendenz nach immer Aufklärung".[16] Das ist der Punkt, an dem die Kritik des spätbürgerlichen philosophischen. Denkens einzusetzen hat.[17] Im weiteren gilt es jedoch zugleich zu berücksichtigen: spätbürgerliches Philosophieren wird heute nicht allein durch seine antiaufklärerischen Tendenzen repräsentiert.

In Auseinandersetzung mit dem positivistisch verordneten Philosophieverzicht vertreten auch einige Physiker des 20. Jahrhunderts noch die Auffassung, nach der „Physik nur eine andere Art, Philosophie zu treiben" sei. Für viele der führenden Physiker unseres Jahrhunderts besteht kein Zweifel daran, dass die großartigen Entdeckungen dieser Wissenschaft für das zeitgemäße philosophische Denken nicht folgenlos bleiben können.[18] Manche von ihnen haben Versuche unternommen, direkt aus der Physikent-

15 J. Mittelstraß, Neuzeit und Aufklärung. Studien zur Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft und Philosophie, Berlin (West) – New York 1970, S. 7.
16 Ebenda.
17 Vgl. M. Buhr/R. Steigerwald, Verzicht auf Fortschritt, Geschichte, Erkenntnis und Wahrheit. Zu Grundtendenzen der gegenwärtigen bürgerlichen Philosophie, Berlin 1981; A. Gedö, Philosophie der Krise, Berlin 1978.
18 Vgl. K. M. Meyer-Abich (Hrsg.), Physik, Philosophie und Politik, München – Wien 1982; H. Hörz, Werner Heisenberg und die Philosophie, Berlin 1968 [Siehe auch: http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/philosophie.html]; U. Röseberg, Niels Bohr. Leben und Werk eines Atomphysikers, Berlin und Stuttgart 1985; P. A. Schilpp (Hrsg.), Albert Einstein als Philosoph

wicklung heraus eine neue Philosophie zu begründen. Andere konzentrierten sich auf philosophische Reflexionen über die Physik. Unüberhörbar aber ist die Forderung an die Philosophen, an den Methoden und Erkenntnissen der Physik nicht vorbei zu philosophieren. In der Suche nach dem adäquaten Ausgangspunkt bei der Beschäftigung mit den philosophischen Fragen der Physikentwicklung wird zwangsläufig immer wieder auf die Geschichte der heutigen Fragestellungen verwiesen.

Wie ist eigentlich das Entstehen dieser „andere(n) Art, Philosophie zu treiben" von jenen Philosophen reflektiert worden, die sich selbst nicht als Physiker verstanden? Welche Rolle spielten in den philosophischen Reflexionen zur Physik der Neuzeit die Überlegungen derjenigen Physiker, die einen entscheidenden Beitrag zur Herausbildung dieser Wissenschaftsdisziplin geleistet haben?

1.2.1 Mathematisierung der Physik

Wir wollen diesen Fragen nachgehen, indem wir lediglich das für das moderne Physikverständnis wichtige *Mathematisierungsproblem* herausgreifen. Die Selbstverständlichkeit, mit der Physik heute als *mathematisierte* Naturwissenschaft präsentiert wird, ist Resultat eines komplizierten Entwicklungsprozesses[19], an dessen Ausgangspunkt die in den Positionen Platons und Aristoteles'[20] kulminierenden Kontroversen griechischer Philosophen[21] standen.

Das weltanschauliche Grundproblem bei der Herausbildung mathematisierter Naturwissenschaft wurde bereits in der Auseinandersetzung um das von Kopernikus neu begründete heliozentrische Weltbild deutlich. Methodisch ging es zunächst darum, ob die Kopernikanische *Theorie* lediglich als mathematische *Hypothese* zu gelten habe oder aber bereits ihre erste Darstellung „gleichsam die allgemeine Verfassung des Universums enthält".[22] Während die Hypothese einer Wissenschaft, der wie der Mathematik damals keinerlei Widerspiegelungsfunktion zugesprochen wurde, der Lehrmeinung der Kir-

und Naturforscher, Stuttgart 1949; H. Vogel, Zum philosophischen Wirken Max Plancks, Berlin 1961; H. Vogel, Physik und Philosophie bei Max Born, Berlin 1968.

19 Vgl. E. J. Dijksterhuis, Die Mechanisierung des Weltbildes, Berlin (West) – Göttingen – Heidelberg 1956; A. Maier, An der Grenze von Scholastik und Naturwissenschaft. Die Struktur der materiellen Substanz, das Problem der Gravitation. Die Mathematik der Formalituden, Roma 1952; W. R. Shea (ed.), Nature Mathematized. Historical and Philosophical Case Studies in Classical Modern Natural Philosophy, Dordrecht 1982; H.-J. Treder, Große Physiker und ihre Probleme, Berlin 1983.

20 U. Röseberg, Philosophie und Physik, Leipzig 1982, S. 39 ff.

21 Vgl. F. Krafft, Geschichte der Naturwissenschaft I. Die Begründung einer Wissenschaft von der Natur durch die Griechen, Freiburg i. Br. 1971; H.-G. Schöpf, Die Griechen und die Natur, Berlin 1983; E. Schrödinger, Die Natur und die Griechen, Wien – Hamburg 1955.

22 N. Copernicus, Über die Kreisbewegungen der Weltkörper, hrsg. und eingeleitet von G. Klaus, Berlin 1959, S. 13.

chenväter gar nicht widersprechen konnte, musste jede die aristotelisch-ptolemäische Weltsicht ablehnende Theorie zwangsläufig in einen unüberbrückbaren Gegensatz zu den religiösen Dogmen der Kirche geraten. Als hilfreich erwies sich in dieser Diskussion schließlich die von Galilei gebrauchte *Buchmetapher*,[23] derzufolge die „Heilige Schrift" und das „Buch der Natur" unvergleichbar seien. Während der sich nur interpretierend erschließende Inhalt des ersten Buchs als Offenbarung einen Gegenstand des Glaubens darstellte, musste das zweite, stets offen vor dem Menschen liegende, in der Sprache der Mathematik geschriebene Buch Gegenstand der Wissenschaft werden.

Diese Buchmetapher schon bei Galilei als *weltanschauliche* Entscheidung zugunsten des Konzepts der nach mathematischen Konstruktionsprinzipien geordneten Natur zu deuten, wäre eine nicht zu rechtfertigende Überinterpretation. Sie hat der naturwissenschaftlichen Forschung ungeachtet aller Komplikationen faktisch zunächst erst einmal jenen Freiraum geschaffen, in dem sie unabhängig von religiösen Dogmen auf der der jeweils erkannten Grundlage der jeweils erkannten Naturgesetze weiterfragen konnte. Zugleich aber verwies die Formulierung von dem in der Sprache der Mathematik geschriebenen „Buch der Natur" bereits auf die spätere *Möglichkeit*, *mathematisierte Naturerkenntnisse* unter Vernachlässigung ihres Entwurfscharakters zu *ontologisieren*.

Galilei wusste um die Schwierigkeiten der Begriffsbildungen der neuen Wissenschaft und reflektierte Momente der Dialektik dieses Prozesses in seinen Dialogen. Descartes kritisierte die von Galilei eingeführten Idealisierungen und die zum Theorieaufbau verwendete „primitive" Mathematik, weil sie nichts mit der Wirklichkeit zu tun hätten. Seine Gegenentwürfe traten mit dem Anspruch auf, die Wirklichkeit *vollständig* zu erfassen. Leibniz ging von prästabilierter Harmonie zwischen der Welt des Idealen und der des Realen aus; damit aber erschien das von Galilei schon klarer reflektierte *Erkenntnisproblem* zunächst erst einmal wieder als ein untergeordnetes. Der in der Galileischen Traditionslinie stehende Newton stellte in diesem Punkt keinen ernsthaften Gegenpol zu Leibniz dar. Er gab dem Aufbau der Mechanik einen vorläufigen Abschluss und präsentierte das neue Theoriegebäude erstmalig in einer geschlossenen Form.

Newton neigte dazu, seine Theorie als Konsequenz der angeblich erfahrungsmäßig begründeten ersten Prinzipien erscheinen zu lassen. Die von ihm gewählte Form der Darstellung hatte ihr historisches Vorbild in Euklids Darstellung der Geometrie. Dies scheint ein weiterer Grund dafür zu sein, dass er ebenso wenig wie Galilei die mathematischen Konstruktionen seiner Theorie mit den wirklichen Zusammenhängen in der Körperwelt identifizierte, ohne dies besonders zu betonen.

Längere Zeit blieb offen, ob die *mathematischen* Prinzipien der Naturbeschreibung als Gegenstand der Mathematik zu behandeln oder aber der *Physik* zuzurechnen seien. Diese Auseinandersetzungen wurden ein Jahrhundert nach dem Erscheinen des Newtonschen Grundlagenwerks faktisch beendet. Dabei spielte die Philosophie

23 Vgl. E. R. Curtius, Europäische Literatur und lateinisches Mittelalter, Berlin 1961, S. 323 ff.

Kants, Höhepunkt und Abschluss der europäischen Aufklärungsphilosophie, eine besondere Rolle.[24]

Wenn Kant davon sprach, dass „in jeder besonderer Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist“[25], dann bedeutete dies eine eindeutige Stellungnahme hinsichtlich der Zugehörigkeit der jeweiligen mathematischen Formalismen zu den entsprechenden naturwissenschaftlichen Disziplinen. Indem sich Physiker mathematischer Theorien bedienen, verbleiben sie Physiker, müssen sich im Umgang mit den mathematischen Begriffen und Formalismen aber natürlich den dafür in der Mathematik erarbeiteten Regeln und Gesetzen unterwerfen. Für Kant gehörte die *Mathematik zum apriorischen*, also nicht aus der Erfahrung begründbaren, sondern *vor* jeder Erfahrung gültigen Teil der Erkenntnis. Er sah in dieser Wissenschaft Erkenntnis „aus der *Konstruktion* der Begriffe“[26]; sie bot ihm „das glänzendste Beispiel einer sich, ohne Beihülfe der Erfahrung, von selbst glücklich erweiternden reinen Vernunft“[27].

Diese Stellungnahme zur Mathematik schrieb sich in eine Erkenntnistheorie ein, welche die in Kants Frühschriften noch vertretene Position von der Existenz objektiver Naturgesetze aufgegeben hatte und *Naturerkenntnis* nun vor allem als *Aktivität* des erkennenden Subjekts fasste. Danach ist nicht die Natur selbst strukturiert, sondern der Mensch vermag mittels seiner – erkenntniskritisch zu reflektierenden – Vernunft die Natur nur strukturierend zu erkennen. Nicht die Natur ist gesetzmäßig, sondern die menschliche Vernunft diktiert der Natur jene Gesetze, nach denen sie erkannt wird. Im Rahmen einer Philosophie, die sich die Aufgabe stellt, die Bedingungen der Möglichkeit der Erfahrung aufzuklären, und zugleich das ewig unerkennbare „Ding an sich“ postulierte, konnte der Gedanke nicht aufkommen, dass mathematisierte physikalische Erkenntnisse und objektiv-reale Zusammenhänge isomorphe Strukturen besitzen, die Natur selbst mathematisch geordnet ist.

Mit dem von der klassischen bürgerlichen deutschen Philosophie weitergeführten Konzept der *Aktivität* des erkennenden, des handelnden *Subjekts* ist Kant über das hinausgegangen, was in den erkenntnistheoretischen Reflexionen der Naturwissenschaftler seiner Zeit zu finden war. Dass er diesen, weit in die Zukunft der naturwissenschaftlichen Erkenntnis weisenden Gedanken mit den damals vor allen Dingen in Gestalt der Newtonschen Mechanik vorliegenden Erkenntnissen (Euklidizität

24 Vgl. M. Buhr/T. I. Oiserman (Hrsg.), Revolution der Denkart oder Denkart der Revolution, Berlin 1976, (insbesondere die Beiträge von M. Buhr, T. I. Oiserman, H.-J. Treder, H. Ley und H. Hörz); R. Wahsner, Das Aktive und das Passive. Zur erkenntnistheoretischen Begründung der Physik durch den Atomismus – dargestellt an Newton und Kant, Berlin 1981.
25 I. Kant, Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft, Vorrede, A VIII (Weischedel V, S. 14).
26 I. Kant, Kritik der reinen Vernunft, B 741.
27 Ebenda, B 740.

des Raumes, Trennung von Raum und Zeit, absolute Gültigkeit der Newtonschen Mechanik des Kausalitätsprinzips u. a.) verband, hat nicht nur dessen heuristische Fruchtbarkeit eingeschränkt, sondern hat zugleich und vor der zukünftigen physikalischen Forschung nur schwer zu durchbrechende weltanschauliche Barrieren errichtet. Bezüglich der weltanschaulichen Interpretationen des Erfolgs mathematisierter Naturerkenntnis haben Kants erkenntniskritische Reflexionen allerdings lange Zeit faktisch überhaupt nicht gewirkt. Sie mochten nicht zu verhindern, dass sich unter der Vorherrschaft des mechanischen Materialismus die mehr oder minder unumstößliche Überzeugung herausbildete, nach der „die Struktur der Außenwelt dem Wesen nach mathematischer Art" ist und „zwischen dieser Struktur und dem mathematischen Denken des menschlichen Geistes eine natürliche Harmonie" besteht.[28] Diese Überzeugung hat auch nach dem Scheitern des mechanischen Materialismus fortgewirkt und beherrschte selbst noch das Denken vieler Physiker des 20. Jahrhunderts. Dies reflektierte beispielsweise N. Hartmann, als er feststellte, dass die *mathematische Formulierung von Naturgesetzen keine Ideal- sondern Realgesetzlichkeit* zum Ausdruck bringe, weil sicher sei, dass die Natur sich nicht nach Denkgesetzlichkeiten richten würde: „Man muß also umgekehrt in dem mathematischen Einschlag der Naturverhältnisse den strengen Beweis dafür erblicken, daß es sich in den mathematischen Gebilden, deren Gesetze der Errechnung des Realen zugrundeliegen, um Ansich-Seiendes im vollen Sinne des Wortes handelt."[29]

Physiker, die so oder ähnlich argumentieren, gehen dabei nur in den seltensten Fällen von naturphilosophischen Ontologien aus – und wenn, dann handelt es sich in der Regel um ontologische Entwürfe, die sie in Übereinstimmung mit dem physikalischen Wissen oder mindestens mit ihren Erwartungshaltungen an zukünftige Physikentwicklung formulieren (naturphilosophische Ontologien werden oft als „Ergänzungen" oder „Alternativen" zur Physik verstanden). Auch innerhalb der mathematisierten Physik ist der psychologisch und erkenntnistheoretisch begründete methodische Hinweis zu beachten: „Kein Forscher kann und darf sich während des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses ausdauernd vor Augen halten, dass er mit Begriffen und Modellen arbeitet, die nur vermittelt über einen vielstufigen Erkenntnisprozess und im Rahmen bestimmter theoretischer Vorstellungen auf die objektive Realität Bezug haben, aber gleichwohl bestimmte Seiten dieser Realität richtig widerspiegeln. Er wird vielmehr die Begriffe und Modelle der Realität selbst unterstellen, er wird mit ihnen operieren als seien sie Realität".[30] Dies ist, wie das Bohrsche Komplementaritätsargument zeigt, in der Physik nur bis zu gewissen Grenzen möglich, die aber waren im

28 E. J. Dijksterhuis, Die Mechanisierung des Weltbildes, Berlin 1956, S. 451.
29 N. Hartmann, Zur Grundlegung der Ontologie, Berlin 1935, S. 264; vgl. auch A. Häußling, Die Reichweite der Physik. Zur Ontologie von Natur und Zeit, Meisenheim/Glan 1969, S. 161; G. Jacoby, Allgemeine Ontologie der Wirklichkeit, Bd. II, Halle 1928, S. 633.
30 J. Erpenbeck, Psychologie und Erkenntnistheorie, Berlin 1980, S. 69.

19. Jahrhundert nicht unbekannt. Damals galt uneingeschränkt der Satz: „... für das Subjekt fällt das Abbild gleichsam mit dem Ding zusammen“[31] und zwar so, als wäre der Abbildungs*prozess* für das Resultat belanglos.

Hegel sah sich mit der mechanisch-materialistischen Auffassung konfrontiert, dass die Naturgesetze in letzter Instanz auf *ontologisierte* Gesetze der Mechanik zurückzuführen seien. Er kritisierte die Bewegungsauffassung der Mechanik als undialektische, weil Bewegung darin auf eine Folge von Ruhezuständen reduziert werde.[32] Für ihn lag in der Mathematisierung der Physik der entscheidende Grund für deren Mangel an Dialektik.[33] Engels aber fand in Hegels naturphilosophischen Betrachtungen und in der *Dialektik der Begriffe* heuristische Anregungen, wie dialektisches Denken auch im Rahmen mathematisierter Wissenschaften fruchtbar zu machen ist. Dabei wird bis heute kontrovers darüber diskutiert, mit welchen methodischen Mitteln das in der „Dialektik der Natur“ unterstellte Naturverständnis bei der Analyse physikalischer Erkenntnisse genutzt werden kann.[34] Wir wollen die Notwendigkeit dialektischen Denkens für die Physik der Neuzeit aus deren Vergleich mit der Physik des Aristoteles begründen.

31 A. N. Leontjew, Sensorisches Abbild und Modell unter dem Aspekt der Leninschen Widerspiegelungstheorie, in: J. Lompscher (Hrsg.), Lenins philosophisches Erbe und Ergebnisse der sowjetischen Psychologie, Berlin 1974, S. 68.
32 Vgl. H. Hörz, Ist die naturphilosophische Bewegungsauffassung von Hegel mit der modernen Naturwissenschaft vereinbar?, in: R.-P. Horstmann/M. J. Petry (Hrsg.), Hegels Philosophie der Natur, Berlin 1986, S. 331-349.
33 Diese Kritik ist aus heutiger Sicht revisionsbedürftig. Siehe dazu: H. H. Borzeszkowski/R. Wahsner, Newton und Voltaire. Zur Begründung und Interpretation der klassischen Mechanik, Berlin 1980; U. Röseberg, Determinismus und Physik, Berlin 1975, S. 39 ff.
34 Vgl. Ž. M. Abdil'din/A. S. Baglirnbaev, Dialektika aktivnosti sub'ekta v naučnom poznanii, Alma-Ata 1977; I. A. Akčurin/M. E. Omel'janovskij/J. V. Sačkov (Hrsg.), Fizičeskaja teoria (Filosofsko-metodologičeskij analiz), Moskva 1980; E. Čudinov (Hrsg.), Leninskoe filosofskoe nasledie i sovremennaja fizika, Moskva 1981; N. P. Depenčuk/R. Wahsner/A. M. Kravčenko (Hrsg.), Metodologičeskij analiz fizičeskogo poznanija, Kiev 1985; Dialektika – mirovozrenie i metodologija sovrernennogo estestvoznanija, in: Dialektika v naukach o priroda i česloveke, Trudy III Vsesojuznogo soveščnija po filosofskim voprosam sovremennogo estestvoznanija, Moskva 1983; V. S. Gott, Filosofskie voprosy sovremennoj fiziki, Moskva 1972; H. Hörz, Physik und Weltanschauung, Standpunkte der marxistischen Philosophie zur Entwicklung der Physik, Leipzig – Jena – Berlin 1975; H. Hörz/H.-D. Pöltz u. a., Philosophische Probleme der Physik, Berlin 1978; P. Jaeglé, Raum und Zeit. Grundfragen naturwissenschaftlicher und philosophischer Erkenntnis, Köln 1980; A. T. Moskalenko (Hrsg.), Metodologičeskie i filosofskie problemy fiziki, Novosibirsk 1982; M. V. Mostepanenko, Filosofija i fizičeskaja teorija, Leningrad 1969; M. E. Omelysnovsky, Dialectics in modern Physics, Moscow 1979; A. Polikarov/A. Strigačev/B. Kandilarov/V. Kovačev (Hrsg.), Sovremenna fizika nasoki na razvitie, rnetodoIogični problemi, Sofia 1973; J. V. Sačkov (Hg.), Teorija poznanija i sovremennaja fizika, Moskva 1984; J. V. Sačkov (Hrsg.), Metody naučnogo poznanija i fizika, Moskva 1985; S. Sakata/M. Taketanil, Philosophische und methodologische Probleme der Physik, Berlin 1982.

1.2.2 Dialektik als methodische Voraussetzung der Physik der Neuzeit

Während die Physik der Neuzeit methodisch durch eine Synthese der mathematisch-theoretischen und der experimentellen Methode charakterisiert ist, spielte in der Physik des Aristoteles die Mathematik keine und das Experiment nur eine untergeordnete Rolle. Aristoteles ging innerhalb seiner Physik im wesentlichen von einem *sensualistisch-realistischen* erkenntnistheoretischen Konzept aus. Viele seiner „physikalischen" Aussagen haben daher den Augenschein für sich. Das trifft für die physikalischen Erkenntnisse seit Galilei nicht mehr zu. Die mathematisch-theoretische Methode, wie sie die Physik der Neuzeit benutzt und im Prinzip ständig verfeinert, ist streng daran gebunden, dass sie mit *idealisierten ideellen Objekten und Prozessen in ihrer Abstraktheit* arbeitet, die *für materielle in ihrer Konkretheit* stehen. *Experimente* werden gemacht, um die zu untersuchenden Objekte und Prozesse unter mehr oder minder kontrollierbaren Bedingungen zu erforschen. Das erkennende Subjekt hat es also nach diesem, für Aristoteles völlig undiskutablen, methodischen Konzept mit einem *Objekt* zu tun, das sowohl über die *materiell-gegenständlichen Eingriffe im Experiment* und *in der Beobachtung* als auch über *ideelle Eingriffe in der mathematisierten Theorie zugleich ein Produkt des erkennenden Subjektes* ist. Im Gegensatz zu Behauptungen in konstruktivistischen und konventionalistischen Fehldeutungen dieses Umstandes unterliegt die *Konstituierung des Forschungsobjektes*, das immer für ein anderes, nämlich das konkrete, zu erkennende Objekt steht, restriktiven Forderungen der Adäquatheit. Deshalb auch ist die Tatsache, dass jeder Erkenntnisprozess und mithin auch der der Konstituierung des Forschungsobjektes ein gesellschaftlicher Prozess ist, für die Physik von Weitaus geringerer Bedeutung als etwa für die politische Ökonomie oder eine andere Gesellschaftswissenschaft.

Festzuhalten bleibt, dass man, wie die Erfolge der Physik ausweisen, um Naturgesetze erkennen zu können, ein methodisches Verfahren benötigt, welches sich der Totalität des universellen Zusammenhangs bewusst bleibt und zugleich aus diesem universellen Zusammenhang allgemein notwendige und wesentliche Zusammenhänge herauszulösen gestattet. Diese *dialektische Widersprüchlichkeit des materialistischen Widerspiegelungsgedankens* rechtfertigt die Redeweise vom „Zwang zur Dialektik" im physikalischen Forschungsprozess.

Die im Forschungsprozess der Physik erfolgreich angewandten Methoden haben Voraussetzungen, die es im Hinblick auf unsere Fragestellung nach dem adäquaten philosophischen Naturbild zu fixieren gilt. Die *experimentelle Methode* setzt voraus, dass unter gleichen wesentlichen Bedingungen gleiche Resultate erzielt werden, dass wissenschaftliche Experimente also an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten reproduzierbar sind. Das jedoch ist nur möglich, wenn in den steten Veränderungen in der objektiven Realität zugleich auch relativ Unveränderliches vorhanden ist. Die *mathematisch-theoretische Methode* setzt die Bildung von Größen und deren praktische Messbarkeit voraus. Die Größenbildung ist nur unter der Voraussetzung qualitativer und quantitativer Bestimmtheit und Bedingtheit der Objekte und Pro-

zesse denkbar. Die Messbarkeit von Größen ist streng daran gebunden, dass in den steten Veränderungen in der objektiven Realität Maßstäbe auffindbar sind, die selbst relativ unveränderlich bleiben (also praktisch als unveränderlich behandelbar sind) und Veränderungen damit erst vergleichbar machen.

Obwohl im Prozess der Herausbildung der Physik der Neuzeit die entsprechenden erkenntnistheoretischen und methodischen Fragen – ausgehend von den damals verfügbaren philosophisch-weltanschaulichen Positionen – intensiv erörtert wurden, konnte mit den großartigen Erfolgen der ganz neuen Wissenschaft über einen sehr alten Gegenstand (Mechanik) der Eindruck entstehen, dass man fürderhin gar keiner subtilen erkenntnistheoretischen Erörterungen in der Physik mehr bedürfen werde (Wurzel positivistischen Denkens). Indem die bewährten Methoden vervollkommnet und auf neue Gegenstände angewandt wurden, konnten in der physikalischen Forschung so beachtliche Erfolge erzielt werden. Man glaubte, die *Erkenntnisse mathematisierter physikalischer Theorien* einfach *mit den entsprechenden Sachverhalten in der objektiven Realität selbst identifizieren* und die entsprechenden Erkenntnisprozesse einschließlich der Gesamtheit ihrer Voraussetzungen völlig vernachlässigen zu können (mechanischer Materialismus). Wenn auf dieser Stufe *Philosophie* noch einen Sinn haben sollte, dann ausschließlich in der *Interpretation der Erkenntnisresultate*.

Der als Erkenntnisbedingung mindestens seit Kant und Hegel philosophisch reflektierte Zusammenschluss von erkennendem Subjekt und erkanntem Objekt, realisiert in der gegenständlichen Auseinandersetzung durch die messende Beobachtung im Experiment und die theoretische Aneignung des Objekts, spielte in den am mechanischen Materialismus orientierten philosophischen Reflexionen über die klassische Physik deshalb keine Rolle mehr. Der *mechanische Materialismus* hat die Existenz objektiver Gesetze hervorgehoben und den Prozess ihrer Erkenntnis vernachlässigt. Es kam unter seinem Einfluss zu Vorstellungen über die Verdinglichung von Gesetzen. Derartige Vorstellungen wirkten auch noch bei führenden Physikern im 20. Jahrhundert.

Für Einstein beispielsweise waren Naturgesetze einfach „Feststellungen über Realität“[35]. Für Planck kam vor aller Wissenschaft „der Glaube an eine vollkommene Gesetzlichkeit in allem Geschehen“.[36] Diese Gesetzlichkeit käme uns nur deshalb nicht zum Bewusstsein, stellte er fest, „weil wir erstens nur über mangelnde Sinnesorgane bzw. Messinstrumente verfügen, und weil wir zweitens bei der Erforschung eines Vorgangs immer zugleich einen Eingriff in seinen Verlauf machen“[37]. Während wir den ersten Mangel leicht durch Steigerung der Empfindlichkeit der Messgeräte kompensieren könnten, wurde der zweite als wesentlich tiefer liegend erkannt. Streng genommen sei es

35 A. Einstein, Physics and Reality, in: Ideas and Opinions, New York 1954, S. 294.
36 M. Planck, Brief an Niels Bohr vom 19.10.1930, in: Bohr Scientific Correspondence (im folgenden: BSC), 24, 3.
37 Ebenda.

sogar verboten, „von einem ‚Vorgang' unabhängig von der Methode seiner Erforschung zu reden. Da wir das aber doch gerne tun wollen, so bleibt uns nichts übrig, als uns möglichst weit von ihm zu entfernen, ihn möglichst von außen zu betrachten. Dann wird seine Gesetzlichkeit immer besser hervortreten."[38]

Gerade das jedoch ist nach dem *Bohrschen Komplementaritätsargument* (1927) nicht zu erwarten. Es hat sich jedenfalls für die Quantenmechanik gezeigt, dass die materiell-gegenständlichen Beobachtungsbedingungen den Gebrauch eines bestimmten Begriffes nahelegen und zugleich für den komplementären Begriff die Definitionsmöglichkeiten in exakt angebbarer Weise einschränken. Damit aber ist die materiell-gegenständliche Einwirkung des erkennenden Subjekts auf das zu erkennende Objekt nicht völlig unabhängig von der ideell-theoretischen. Die jeder begrifflichen Fixierung inhärenten Idealisierungen sind keineswegs prinzipiell nur ideeller Natur. Der mit dem Komplementaritätsargument gegebene Zusammenhang der verschiedenen Komponenten der Erkenntnistätigkeiten von Subjekten und den Resultaten dieser Tätigkeiten ist durch keine noch so große räumliche oder zeitliche Entfernung vom jeweiligen Objekt aufhebbar.

In der physikalischen Theorie verschärft sich der in der dialektisch-materialistischen Erkenntnistheorie bekannte Zwang, die Resultate des Erkenntnisprozesses nicht in der Isolation von diesem Prozess, das Objektive nicht in der metaphysischen Trennung vom Subjektiven zu fassen, sondern die für jede erkenntnistheoretische Erörterung unverzichtbare *Subjekt-Objekt-Dialektik* in ihrer konkreten dialektischen Widersprüchlichkeit zu analysieren. Mit dem Komplementaritätsargument wird mindestens auf der Ebene der die Beobachtung und das Experiment widerspiegelnden theoretischen Begriffe nun auch für die Physik klar, was die Philosophie bereits deutlich herausgearbeitet hat: Das Subjekt vermag nur zu erkennen, indem es sich mit dem Objekt auseinandersetzt (materiell-gegenständlich und ideell-theoretisch). Die Subjekt-Objekt-Dialektik aber hebt die Frage nach der Quelle der Erkenntnis nicht auf und ist deshalb nicht identisch mit der Beziehung von Materie und Bewusstsein. Bei aller Kompliziertheit realer Subjekt-Objekt-Beziehungen bleibt *die objektive Realität* außerhalb und unabhängig von unserem Bewusstsein *die Quelle unserer Erkenntnis*, ist das *Primat der Materie gegenüber dem Bewusstsein* erkenntnistheoretisch absolut.

R. Rompe und H.-J. Treder haben die von A. Einstein 1921 gestellte Frage „Warum paßt die Mathematik so gut auf die Physik?" ausführlich diskutiert und sind dabei letztlich zu folgender Position gekommen: „Das unmittelbar Beobachtbare, das direkt Meßbare genügt im allgemeinen keinen einfachen und durchsichtigen mathematisch formulierbaren Gesetzen. Erst durch die Erkenntnis, daß die Mannigfaltigkeit der primären Sinnenwelt, durch die Einsicht, daß der Mikrokosmos sehr viel reichhaltiger ist als das makroskopisch Gegebene, ist es möglich, auf einsichtige

38 Ebenda.

Naturgesetze zu stoßen, die einen erfolgreichen Einsatz der Mathematik möglich machen. Die Hauptleistung der Theorie ist es nach *Hertz*, gerade diese Erweiterung des Realitätsbegriffs zu erbringen."[39]

Was ansonsten sehr oft als selbstverständliche Voraussetzung in die Diskussionen zum *Verhältnis von Mathematik und Wirklichkeit* eingebracht wird; die Existenz mathematisierter physikalischer Theorien, problematisieren die Autoren mit H. Hertz dahingehend, dass die Hauptleistung physikalischer Theorien in einer solchen *Erweiterung des Realitätsbegriffs* besteht, die den Einsatz der Mathematik sichert. Damit wird auf die Aktivität des Theorien entwerfenden Physikers bei der Konstitution der Objekte physikalischer Theorien verwiesen. Es handelt sich dabei weder um einfache Beschreibungen (im Sinne von Kirchhoff) noch um mechanische Abbilder (im Sinne des mechanischen Materialismus), sondern immer um eine dialektische Einheit von Abbild und Entwurf. Dies aber ist bereits in der klassischen Physik der Fall; nicht erst „die Einsicht, daß der Mikrokosmos sehr viel reichhaltiger ist als das makroskopisch Gegebene", führt zur Erweiterung des Realitätsbegriffs. Auch der *Realitätsbegriff der klassischen Mechanik* ist nicht einfach das makroskopisch Gegebene, sondern eine *mathematisierungsfähige Fassung dieses Gegebenen*, also ein ganz bestimmter *theoretischer Entwurf*. Die Mathematisierbarkeitsvoraussetzung der klassischen Physik ist ebenso wie die der modernen Physik in einer erst von der Theorie geleisteten *Erweiterung des Realitätsbegriffs* zu sehen. Damit aber erscheint die bereits mathematisierte Theorie als Voraussetzung ihrer Mathematisierbarkeit. Wir geraten somit in einen Zirkel, den undialektisches Begründungsdenken nicht aufzulösen vermag. Der Ausweg aus diesem Zirkel ist allein in der *Dialektik der physikalischen Forschungspraxis* in Geschichte, Gegenwart und Zukunft zu suchen.

Angeregt durch die Erkenntniskritik Kants (nicht der dogmatisierten Festschreibung ihrer subjektividealistischen Konsequenzen) wollen wir uns dabei von der Hypothese leiten lassen: *Die Zusammenhänge materieller Objekte und Prozesse sind prinzipiell nicht mit mathematischen Strukturen zu identifizieren*, *lassen sich aber mittels mathematischer Strukturen im Verlaufe des menschlichen Erkenntnisprozesses immer adäquater widerspiegeln*. Diese Hypothese geht davon aus, dass die Erfahrung in Form von Messdaten aus physikalischen Experimenten und systematischen Beobachtungen die für einen Objektbereich gegebenen Möglichkeiten des Entwurfs mathematischer Strukturen nicht eindeutig auf eine Realstruktur zu reduzieren erlaubt. Damit werden weder Grenzen des Mathematisierungsprozesses postuliert, noch wird der Materialismus gefährdet. Philosophischer Materialismus aber lässt sich nur als dialektischer durchhalten. Die Dialektik des Erkenntnisprozesses ist für *jeden* Begriff, also auch jeden der mathematisierten Naturerkenntnis, zu beachten. Behauptungen, zwischen der Theorie der Dialektik und mathematisierten wissenschaftlichen Theorien müsse es zu logischen Widersprüchen kommen, entbehren jeglicher Grundlage.

39 R. Rompe/H.-J. Treder, Zählen und Messen, Berlin 1985, S. 51.

Nach der hier vertretenen Hypothese wird der Mathematisierungsprozess durch den dialektischen Widerspruch vorangetrieben, dass die Zusammenhänge in der objektiven Realität durch mathematische Strukturen repräsentiert werden, jedoch nicht mit ihnen identisch sind. Das ist mehr als der Neukantianismus mit der Betonung des Symbolcharakters des Mathematischen zu leisten vermag[40], und geht auch über die durch Wittgensteins Übergang vom „Tractatus logico-philosophicus" zu den „Philosophischen Untersuchungen" gegebene „linguistische Wendung in der Philosophie" mit ihrem „vielleicht wichtigsten Resultat für die Wissenschaftstheorie, nämlich der Problematisierung des mathematischen Isomorphiebegriffes"[41] hinaus. Damit wird weder einer „Krisis der europäischen Wissenschaften" das Wort geredet (E. Husserl), noch eine „alternative Physik" nach Bergsonschen oder anderen Vorgaben gefordert.

1.2.3 Dialektische Widersprüche in der physikalischen Bewegungsform der Materie

Eine der entscheidenden Fragen für das von Engels unterstellte dialektisch-materialistische Naturverständnis lautet, *ob* und *wie dialektische Widersprüche der Natur mittels mathematisierter Naturerkenntnis theoretisch abbildbar* sind.[42] Im folgenden soll dazu ein philosophisches Forschungsprogramm vorgestellt werden, das geeignet erscheint, Erkenntnisfortschritte hinsichtlich der dialektischen Widersprüche in der physikalischen Bewegungsform der Materie zu erzielen.[43]

In der internationalen marxistisch-leninistischen philosophischen Literatur gibt es Arbeiten mit einer Fülle – hier nicht zu referierender – von Überlegungen zur dialektisch-materialistischen Interpretation vorhandener physikalischer Erkenntnisse. Dabei werden in unterschiedlicher Weise die mathematisierten physikalischen Erkenntnisse selbst als dialektisch widersprüchliche oder aber als den dialektischen Widerspruch ausschließende behandelt. Im letzteren Fall erscheint der dialektische Widerspruch erst als *Resultat der philosophischen Interpretation einer physikalischen Erkenntnis*. In jedem Falle aber ist die philosophische Interpretation vorhandener, in ihrer Statik belassener physikalischer Erkenntnisse der Frage ausgesetzt, was wie wissenschaftlich eigentlich gegenüber dem bereits Bekannten zu leisten vermag. Unbestreitbar sind auf diesem Wege weitere Präzisierungen des kategorialen Apparates des dialektischen Materialismus möglich. Zweifelsohne tragen derartige Präzisierungen dazu bei, das

40 Vgl. E. Cassirer, Philosophie der symbolischen Formen III. Phänomenologie der Erkenntnis, Berlin 1929, S. 511.
41 J. Götschl, Zur Grundlegung einer historischen Wissenschaftsforschung, in: C. Burrichter (Hrsg.), Grundlegung der historischen Wissenschaftsforschung, Basel – Stuttgart 1979, S. 185.
42 Vgl. U. Röseberg, Dialektischer Widerspruch und Natur. Überlegungen zur Relevanz des Engelsschen Konzepts für mathematisierte Naturwissenschaften, in: M. Buhr/H. Hörz (Hrsg.), Naturdialektik – Naturwissenschaft, a. a. O., S. 49-76.
43 Vgl. U. Röseberg, Dialektische Widersprüche in der physikalischen Bewegungsform der Materie, in: H. Bartsch (Hrsg.), Der dialektische Widerspruch, Berlin 1986, S. 102-125.

Kategoriengefüge der marxistisch-leninistischen Philosophie in Übereinstimmung mit neuesten Ergebnissen der Naturwissenschaften zu vervollkommnen. Es erscheint aber zweifelhaft, ob auf diesem Wege das heuristische Potential unserer Philosophie für die Naturwissenschaften voll zur Entfaltung gebracht werden kann. Immer wieder hört man nämlich von Naturwissenschaftlern, die mit philosophischen Interpretationen ihnen wohlbekannter Resultate ihrer Wissenschaft konfrontiert werden, dass man solches durchaus tun, aber es auch ebenso gut unterlassen könne. Geschieht dies theoretisch gerechtfertigt für Arbeiten, die sich zum Ziel gesetzt haben, objektive dialektische Widersprüche der Natur aus fixierten naturwissenschaftlichen Erkenntnissen interpretierend zu rekonstruieren, dann kann man nicht umhin, festzuhalten, dass derartige Arbeiten nicht dazu beitragen, Naturdialektik als *die*, dem Erkenntnisstand der Naturwissenschaften adäquate, theoretische Position der Philosophie auszuzeichnen. Sie ist dann nur noch eine unter mehreren möglichen. Es muss dabei unklar bleiben, wie man sich vom philosophischen Pluralismus abgrenzen will.

Im folgenden soll davon ausgegangen werden, dass dieser Gefahr am wirkungsvollsten zu begegnen ist, wenn konsequent der Gedanke der Klassiker der marxistisch-leninistischen Philosophie verfolgt wird, jedes philosophische Problem in den ihm eigenen historischen Dimensionen zu analysieren. Mit der hier vorausgesetzten Position zum Verhältnis von Dialektik und Logik bietet sich methodisch dazu das unter Rückgriff auf Kant von Narski eingeführte *Konzept der Problemantinomien* an.[44]

Dabei werden unter Problemantinomien Situationen verstanden, die immer wieder im Erkenntnisprozess auftauchen, und dadurch gekennzeichnet sind, dass zwei sich wechselseitig negierende Urteile (These und Antithese) innerhalb mehr oder minder formalisierter bzw. mathematisierter Theorien oder Theorieansätze gleichzeitig beanspruchen, wahr zu sein. Die Struktur dieser Widersprüche ist also zunächst die eines *logischen* Widerspruchs. Es soll sich bei ihnen aber *nicht um logische Widersprüche* handeln, weil fehlerhafte Anwendungen der logischen Schlussregeln ausgeschlossen werden. Das jedoch bedeutet, dass man von einem im Erkenntnisprozess tatsächlich auftauchenden Widerspruch erst im Resultat eines mehr oder minder aufwendigen Forschungsprozesses wird sagen können, ob er einfach einem Fehler geschuldet ist (und damit letztlich doch einen logischen Widerspruch darstellt) oder ob er als Problemantinomie (und damit als *dialektischer Widerspruch* auf der Ebene der subjektiven Dialektik) anzusehen ist. Solange dies nicht festgestellt wurde, muss man innerhalb des entsprechenden Gedankengebäudes mit dem entsprechenden Widerspruch „leben".

Wenn man erkannt hat, dass These und Antithese nicht zugleich und in derselben Beziehung gelten, dann ist der logische Widerspruch ausgeschlossen, und unter der Voraussetzung, dass die Lösung des mit These und Antithese bezeichneten Problems

44 Die methodologischen Voraussetzungen des nachfolgenden Vorgehens werden ausführlich diskutiert in: U. Röseberg, Szenarium einer Revolution. Nichtrelativistische Quantenmechanik und philosophische Widerspruchsproblematik, Berlin 1984.

nur über eine *dialektische Synthese* beider erfolgen kann, liegt auch eine Problemantinomie vor. Hat man einen Widerspruch auf der Ebene der subjektiven Dialektik als Problemantinomie erkannt oder muss man begründet vermuten, dass es sich um einen solchen handelt, beginnt jener Prozess, den man mit Hegel als „Aushalten des Widerspruchs" bezeichnen kann. Das heißt: es setzen innerhalb entsprechender Forschungsprogramme konkrete Versuche ein, diesen Widerspruch aufzuheben. Er wird damit zur Quelle der weiteren Entwicklung der Erkenntnis.

In philosophischer Verallgemeinerung der realen Theoriendynamik der Physik als eines historischen, und damit dialektisch widersprüchlichen Prozesses, also eines Prozesses, der durch die Einheit von Kontinuität und Diskontinuität, von Wissensakkumulation und revolutionären Umbrüchen im Gefüge wissenschaftlicher Erkenntnisse charakterisiert ist, wird die Dialektik für das philosophische Verständnis der entsprechenden Erkenntnisse unausweichlich. Solange man darauf hoffen kann, alle im physikalischen Forschungsprozess und seinen Resultaten auftauchenden Widersprüche sukzessive eliminieren zu können, gibt es keine Notwendigkeit anzunehmen, dass manchen dieser Widersprüche etwas vom Erkenntnisprozess Unabhängiges in der objektiven Realität entspricht. Kommt man aber ausgehend vom Prinzip der Unerschöpflichkeit der Materie bei der Analyse des wissenschaftshistorischen Materials zu der Überzeugung, dass eine Reihe von Widersprüchen auf der Ebene der subjektiven Dialektik Problemantinomien darstellen, deren Lösung in der dialektischen Synthese von These und Antithese besteht, dann scheint dies die Annahme nahezulegen, dass derartigen dialektischen Widersprüchen auf der Ebene der subjektiven Dialektik *objektive dialektische Widersprüche der Natur* zugrunde liegen. Berücksichtigt man weiterhin, dass eine Reihe dieser Problemantinomien in dem mehr zwei Jahrtausende währenden Ringen der Menschheit um rationale wissenschaftliche Erkenntnisse über die Natur zugleich mit der Lösung der konkreten physikalischen Probleme auf höherer Ebene der physikalischen Forschung immer wieder neu gesetzt wurden und bis heute als fundamentale Problemantinomien der Physik anzusehen sind, dann gibt es unseres Erachtens *zu der Annahme objektiver dialektischer Widersprüche in der physikalischen Bewegungsform der Materie keine vernünftige Alternative* mehr.

In philosophischer Verallgemeinerung bisheriger, sicher noch sehr fragmentarischer Überlegungen zur Geschichte der Auseinandersetzungen mit den Problemantinomien Einheit und Vielfalt, Sein und Werden, Kontinuität und Diskontinuität, Aktivem und Passivem, Repulsion und Attraktion, Zufall und Notwendigkeit, Holismus und Atomismus, Kausalität und Finalität, Symmetrie und Asymmetrie kann man für Struktur-, Bewegungs- und Entwicklungsauffassungen in der Physik generalisierend feststellen, dass vermutlich jedes in Form logisch widerspruchsfreier mathematischer Strukturen unterstellte Weltbild früher oder später zu eng wird. Der Ausweg aus dieser Situation ist nun aber nicht in einem Verzicht auf philosophische Weltbildvorstellungen überhaupt zu suchen, sondern vielmehr darin, dass man bei aller notwendigerweise zu fordernden theoretischen Bestimmtheit ein genügend flexibles, ausbaufähiges Weltbild anstrebt.

Zu dessen begrifflicher Bestimmung benötigt man die Kategorien der materialistischen Dialektik. D. h., ein für die naturwissenschaftliche Forschung heuristisch fruchtbares philosophisches Weltbild muss in Übereinstimmung mit den aus der Geschichte der Physik ablesbaren Tendenzen ein *Weltbild* sein, das die *dialektische Widersprüchlichkeit von Einheit und Vielfalt, Sein und Werden, Kontinuität und Diskontinuität, Aktivem und Passivem, Repulsion und Attraktion, Zufall und Notwendigkeit, Holismus und Atomismus, Kausalität und Finalität, Symmetrie und Asymmetrie einbezieht*. Die Konturen eines solchen Weltbildes sind in der „Dialektik der Natur" von Friedrich Engels vorgezeichnet und mit den philosophischen Verallgemeinerungen aus der zukünftigen Physikentwicklung heute weiter zu verschärfen. Dabei ist zu beachten, dass spätestens seit Hegel die zur Charakterisierung der Problemantinomien benutzten Begriffe selbst als *dialektisch widersprüchliche Begriffe* verstanden werden müssen.

In Auseinandersetzung mit Auffassungen, denen zufolge *Naturdialektik* auf Ontologie reduziert werden soll, gilt es festzuhalten, dass wir weder mit Leibniz von prästabilierter Harmonie zwischen Denken und Sein, noch mit Hegel von deren Identität ausgehen können. Über die *objektiven dialektischen Widersprüche in der Natur* können wir etwas erfahren, indem wir die *dialektischen Widersprüche des Erkenntnisprozesses und seiner Resultate in ihren historischen Dimensionen* untersuchen. Dabei müssen alle philosophischen Behauptungen als wissenschaftlich unseriös erscheinen, die davon ausgehen, diese oder jene widersprüchliche Eigenschaft der Materie hätte gar nicht anders sein können, als die schließlich aufgefundenen physikalischen Gesetze besagen. Das *Engelssche Konzept von der Dialektik der Natur* mit seinem *theoretischen Kern in der Behauptung von der Existenz objektiver dialektischer Widersprüche der Natur* erweist seine *heuristische Fruchtbarkeit* nicht durch die spekulative Vorwegnahme naturwissenschaftlich zu erforschender Gesetzeszusammenhänge, sondern dadurch, dass es die Naturwissenschaftler darauf vorbereitet, beim Eindringen in Struktur, Bewegungs- und Entwicklungsgesetze der Natur auf dialektisch widersprüchliche Beziehungen zu stoßen, in den Resultaten des Erkenntnisprozesses die Dialektik dieses Prozesses in spezifischer Weise gebrochen wiederzufinden und ständig gezwungen zu werden, von einmal gesicherten Erkenntnissen ausgehend, zu neuen, vollkommeneren Erkenntnissen überzugehen.

Lenin hat dies in Übereinstimmung mit den entsprechenden Feststellungen von Engels (insbesondere im „Anti-Dühring" und in der „Dialektik der Natur") auf die These gebracht: „Alle Grenzen in der Natur sind bedingt, relativ, beweglich, drücken das Näherkommen unseres Verstandes an die Erkenntnis der Materie aus, was aber nicht im mindesten beweist, daß die Natur, die Materie selbst nur ein Symbol, ein konventionelles Zeichen, d. h. ein Produkt unseres Verstandes sei."[45]

Der von uns eingeschlagene Weg, dialektische Widersprüche der Natur nicht unmittelbar aus den logisch widerspruchsfrei formulierten mathematisierten Erkenntnissen der Physik abzuleiten, sondern als Grenzwerte im historischen Ringen

45 W. I. Lenin, Materialismus und Empiriokritizismus, in: Werke, Bd. 14, Berlin 1968, S. 282 f.

mit bereits in der antiken Naturphilosophie entworfenen Problemantinomien aufzufassen, ist nicht mit einem Verfahren zu verwechseln, wonach die dialektischen Widersprüche der Natur zum unerkennbaren Kantschen „Ding an sich" würden. Wenn es um Widersprüche in der objektiven Realität geht, dann aber muss auch für deren *begriffliche Fixierung* gelten, was für alle wissenschaftlichen Begriffe Bestand hat: „... der Begriff einer Sache und ihre Wirklichkeit, laufen nebeneinander wie zwei Asymptoten, sich stets einander nähernd und doch nie zusammentreffend. Dieser Unterschied beider ist eben der Unterschied, der es macht, dass der Begriff nicht ohne weiteres, unmittelbar, schon die Realität, und die Realität nicht unmittelbar ihr eigner Begriff ist. Deswegen, dass ein Begriff die wesentliche Natur des Begriffes hat, dass er also nicht ohne weiteres prima facie[46] sich mit der Realität deckt, aus der er erst abstrahiert werden musste, deswegen ist er immer noch mehr als eine Fiktion, es sei denn, sie erklären alle Denkresultate für Fiktionen, weil die Wirklichkeit ihnen nur auf einem großen Umweg, und auch dann nur asymptotisch annähernd, entspricht."[47]

2. Physik der mittleren Dimensionen – klassische Physik

Die *Newtonsche Mechanik* ist die erste physikalische Theorie, die im Heisenbergschen Sinne als „abgeschlossene Theorie"[48] gelten kann. Ihr folgten mit der *Maxwellschen Elektrodynamik* und der *Thermodynamik* des Gleichgewichts bzw. des Quasigleichgewichts zwei weitere Theorien dieses Typs. Für alle drei trifft zu, dass sie „durch kleine Änderungen nicht mehr verbessert werden" können.[49] Sie gelten innerhalb des Anwendungsbereichs ihrer Begriffe mit praktisch hinreichender Genauigkeit; ihr *Gültigkeitsbereich* selbst aber wird nicht durch die entsprechenden Theorien festgelegt, sondern ist nur über die praktischen Anwendungserfolge dieser Theorien bzw. im Rahmen allgemeinerer Theorien über Korrespondenzprinzipien[50] bestimmbar.

Die Tatsache, dass „abgeschlossene Theorien" mittels kleiner Änderungen nicht mehr verbesserungsfähig sind, sagt keinesfalls etwas darüber aus, ob diese Theorien hinsichtlich ihrer möglichen Schlussfolgerungen bereits ausgeschöpft sind. Das Vorliegen „abgeschlossener Theorien" darf also nicht mit dem Erstarren der Dialektik des Erkenntnisprozesses gleichgesetzt werden. Erkenntnisfortschritte sind bezüglich der Gültigkeitsbereiche dieser Theorien und der aus ihnen ableitbaren Schlussfolgerungen

46 Auf den ersten Blick.
47 F. Engels, Brief an C. Schmidt vom 12. März 1895, in: MEW, Bd. 39, Berlin 1963, S. 431.
48 Vgl. W. Heisenberg, Schritte über Grenzen. Gesammelte Reden und Aufsätze, München 1972, S. 87 ff.
49 C. F. v. Weizsäcker, Aufbau der Physik, München – Wien 1985, S. 28.
50 Vgl. B. M. Kedrov/N. F. Ovčinnikov (Hrsg.), Prinzip sootvetstvija, Moskva 1979; H. Laitko, Das Korrespondenzprinzip als Methode der theoretischen Erkenntnis, in: H. Laitko/R. Bellmann (Hrsg.), Wege des Erkennens, Berlin 1969, S. 127-161.

möglich. Im Hinblick auf die innerhalb der klassischen Physik enthaltene Dialektik physikalischer Erkenntnis wollen wir zunächst das mit der Mechanik und der Elektrodynamik gegebene physikalische Objektverständnis betrachten.

2.1 Teilchen- und Feld-Objektverständnis der Mechanik und der Elektrodynamik

In der *klassischen Mechanik* wird die relative Bewegung realer Körper (bezogen auf andere Körper) als Ortsveränderung in der Zeit von mathematischen, mit Masse behafteten Punkten in einem Bezugssystem wiedergespiegelt. Die mechanische Bewegung realer Körper lässt sich so lange durch das *Massenpunktmodell* idealisieren, wie die Abmessungen der entsprechenden Körper im Verhältnis zu den für die Ortsveränderungen charakteristischen Entfernungen klein und die Eigendrehungen dieser Körper vernachlässigbar sind. Selbst wenn derartige Idealisierungen nicht mehr möglich sind, erlaubt die Theorie, am *Modell diskreter Objekte* festzuhalten. Reale Körper werden abgebildet, indem über eine unendliche Vielfalt von Massenpunkten innerhalb des von dem Körper eingenommenen Raumbereichs summiert wird. Das *Massenpunktmodell* kann demnach als *Grundmodell der innerhalb der klassischen Mechanik* behandelbaren Objekte angesehen werden. Die für viele Bereiche wichtige Kontinuumsmechanik lässt sich als spezifische mathematische Form der *klassischen Teilchenphysik* verstehen.

Gemäß der klassischen Mechanik gibt es in der objektiven Realität *individuelle Objekte*, die außer der Eigenschaft, Masseträger zu sein, noch eine Vielfalt anderer Eigenschaften haben können. Die Objekte sind *in Raum und Zeit lokalisierbar.* Sie unterliegen der *Newtonschen Bewegungsgleichung*; ihre Masse wird als Beharrungsvermögen (Trägheit) gegenüber Geschwindigkeitsänderungen durch äußere Krafteinwirkungen bestimmt. Die Größen „Masse", „Geschwindigkeit" und „Beschleunigung" kommen den Einzelobjekten zu. „Schwere" ist eine Eigenschaft, die sich aus der gravitativen *Wechselwirkung* ergibt. Die wechselseitige Anziehungskraft zweier beliebiger Massen ist proportional zu den entsprechenden Massen und umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung zwischen den Massenpunkten. Gemäß der Newtonschen Gravitationstheorie wirkt diese Kraft über beliebige Entfernungen instantan[51]. Es handelt sich also um *Fernwirkung* oder anders ausgedrückt: die Geschwindigkeit der Kraftausbreitung ist unendlich groß.

Die klassische Mechanik sieht von allen Änderungen realer Objekte ab, die nicht mittels der für das Massenpunktmodell definierten Größen abbildbar sind. Infolge der *Reversibilität* der Bewegungsgleichung spielt die Asymmetrie von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft keine Rolle; *Zeit* geht in die Theorie als *Parameter* ein. Historizität und Zunahme von Komplexität sind vom Standpunkt dieser Theorie schwer zu fassen. Die Entstehung von Neuem wurde auf mechanisch-materialistischer Grundlage als Kombination letzter unveränderlicher Bausteine (*Stoff*) unter spezifischer *Krafteinwirkung* zu erklären versucht. Innerhalb des mechanischen Materialismus aber

51 augenblicklich.

blieb die für Entwicklungsprozesse charakteristische Herausbildung neuer, höherer Qualitäten letztlich unverständlich. Das in philosophischer Verallgemeinerung der Newtonschen Mechanik entworfene physikalische Weltbild ging davon aus, dass allen materiellen Objekten die Eigenschaft zukomme, Träger wägbarer Massen zu sein. Dort aber, wo diese Gedankenkonstruktion offensichtlich nicht griff, würden mit den Imponderabilien unwägbare Substanzen eingeführt (Äther, Wärmestoff u. a.). Damit sollte wenigstens gesichert werden, dass man bei der Behandlung der entsprechenden Erscheinungen methodisch analog zur Mechanik vorgehen konnte.

Mechanik	Ponderable [wägbare] Materie	
Optik	Lichtstoff	Imponderabilien
Wärmelehre	Wärmestoff	
Elektrizitätslehre	Elektrische Flüssigkeiten	
Lehre vom Magnetismus	Magnetische Flüssigkeiten	

Tabelle 1: Physik zu Beginn des 19. Jahrhunderts: Gegenstände der speziellen Disziplinen sind bestimmte Materiearten und deren Kräfte (Vorbildwirkung der Newtonschen Mechanik)

Heute ist klar, dass aus der Spezifik der für die Newtonsche Mechanik charakteristischen Idealisierungen realer Objekte keine derartigen ontologischen Schlüsse gezogen werden dürfen, wie sie im *mechanischen Materialismus* versucht wurden. Ungeachtet der Kurzschlüssigkeit dieser fehlerhaften philosophischen Verallgemeinerung bleiben natürlich die der Mechanik zugrundeliegenden Idealisierungen weiterhin berechtigt. Sie können aber selbst auf dieser Ebene nicht mehr paradigmatisch für *das* Objektverständnis der Physik schlechthin stehen.

In der *klassischen Elektrodynamik* wird ein völlig andersartiges Objektverständnis vorausgesetzt. Sie führt mit dem *Feldbegriff* eine physikalische Realität ein, die bis dahin keine Rolle gespielt hatte. Zwar ist es aus der Perspektive der Einsteinschen Gravitationstheorie möglich, auch die Newtonsche Gravitationstheorie als eine spezielle Feldtheorie anzusehen, nur kann diese Betrachtungsweise nicht dazu beitragen, die *Spezifik feldtheoretischer physikalischer Konzepte* klar hervortreten zu lassen.

Felder sind dadurch bestimmt, dass jeder Punkt des Raumes durch physikalische Größen charakterisiert wird, die in Wechselwirkung mit anderen physikalischen Objekten messbare Wirkungen zeitigen. Änderungen der Feldgrößen breiten sich mit endlicher Geschwindigkeit aus. Grundlage feldtheoretischer Vorstellungen ist das *Kontinuum*. Mit der Maxwellschen Elektrodynamik gelang es auf feldtheoretischer Grundlage, Elektrizität und Magnetismus als unterschiedliche Erscheinungsweisen einer einheitlichen, nicht auf mechanische Bewegungen reduzierbaren Klasse physikalischer Phänomene zu fassen. Innerhalb dieser Theorie kommen zwar *diskrete Objekte* als Feldquellen vor (bewegte Ladungen); die *kontinuierlichen Felder* aber führen – einmal erzeugt – eine eigenständige Existenz, sind also neben den Teilchen gleichberechtigte *physikalische Objekte*.

Über die Syntheseleistung hinaus kommt der Elektrodynamik zugleich das Verdienst zu, einen entscheidenden Durchbruch bei der *Theorie des Lichts* erbracht zu haben. Entgegen der von Newton vertretenen *Korpuskeltheorie* hatte sich die von Hooke, Huygens u. a. entwickelte *Wellentheorie* des Lichts im 19. Jahrhundert durchgesetzt, ohne dabei allerdings Klarheit über den Charakter der sich im Äther ausbreitenden Schwingungen zu erlangen. Als H. Hertz nachweisen konnte, dass sich elektromagnetische Wellen im freien Raum ausbreiten und dabei ein Verhalten zeigen, welches dem der Lichtausbreitung gleicht, lag der Gedanke nahe, *Licht* als *elektromagnetische Strahlung* zu verstehen. Damit wurde zugleich ein Weg vorgezeichnet, den Äther (nach Max Planck ein „Schmerzenskind" der damaligen Physik) endgültig aus der Physik zu verbannen; die Elektrodynamik war „ätherfrei" möglich. Die Entdeckung der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im freien Raum hat wesentlich dazu beigetragen, der Maxwellschen Theorie zu wissenschaftlicher Anerkennung zu verhelfen. Dieses vom Standpunkt des mechanischen Materialismus völlig unfassbare Phänomen ließ sich mit der neuen Theorie zwangslos erklären.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es gemäß dem klassisch-physikalischen Naturverständnis zwei grundsätzlich verschiedene, prinzipiell nicht aufeinander reduzierbare, physikalische Objekte gibt, *Teilchen* und *Felder*. Jedes in der objektiven Realität vorfindbare Objekt lässt sich danach *entweder* als Teilchen *oder* als Feld modellieren. Beide Konzepte sind in sich logisch widerspruchsfrei; jedes von ihnen lässt sich in konsistenter Weise in *eine* physikalische Theorie einbringen. Da die einander wechselseitig ausschließenden Konzepte zwei verschiedenen Theorien zugehören, die über jeweils spezifische Begriffsbildungen, Gesetzesformulierungen und Bedingungsgefüge verfügen, erwachsen aus der *ontologischen* „entweder-oder"-Fragestellung keine schwerwiegenden *erkenntnistheoretischen* Konsequenzen. Was als massebehaftetes Teilchen erkannt ist, kann umstandslos mit den Mitteln der Mechanik behandelt werden. Felder sind im Rahmen der Feldtheorie zu behandeln, wobei die klassische Physik nur eine solche Theorie kennt: die Elektrodynamik.

Während die Teilchenvorstellung das diskontinuierliche Moment im Naturverständnis hervorhebt, betont die Feldvorstellung das kontinuierliche. Daraus folgt keineswegs mit Notwendigkeit der Ausschluss der Dialektik von Kontinuität und Diskontinuität im entsprechenden Naturverständnis. Unter der Voraussetzung vorherrschender metaphysischer Denkweise wird dann allerdings nahegelegt, dass „von Zwei entgegengesetzten Behauptungen ... die eine wahr, die andere aber falsch sein müsse".[52] Dieses Denken neigt dazu, „die Unmittelbarkeit und ... Vermittlung, jede für sich, als absolut" aufzufassen, und meint „an ihnen etwas Festes von Unterscheidung zu haben".[53] Es konstatiert „die unüberwindliche Schwierigkeit, sie zu vereinigen",

52 G. W. F. Hegel. System der Philosophie. Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften. Erster Teil. Die Logik, in: Sämtliche Werke, Bd. 8, Stuttgart 1955, S. 99.
53 Ebenda.

weil es „in unaufgelösten Gegensätzen verweilt“[54]. Diese Denkweise hat das Naturverständnis der klassischen Physik für lange Zeit geprägt. Engels' Hinweis auf die Notwendigkeit zum dialektischen Denken wurde von den Physikern weitestgehend ignoriert; es kam faktisch erst zum Tragen, nachdem die Physik sich zu einer radikalen Veränderung ihres Objektverständnisses genötigt sah. Das Hauptübel des im 18. und 19. Jahrhundert vorherrschenden metaphysischen Materialismus bestand darin, dass er unfähig war, die „Dialektik auf die Bildertheorie, auf den Prozess und die Entwicklung der Erkenntnis anzuwenden“.[55]

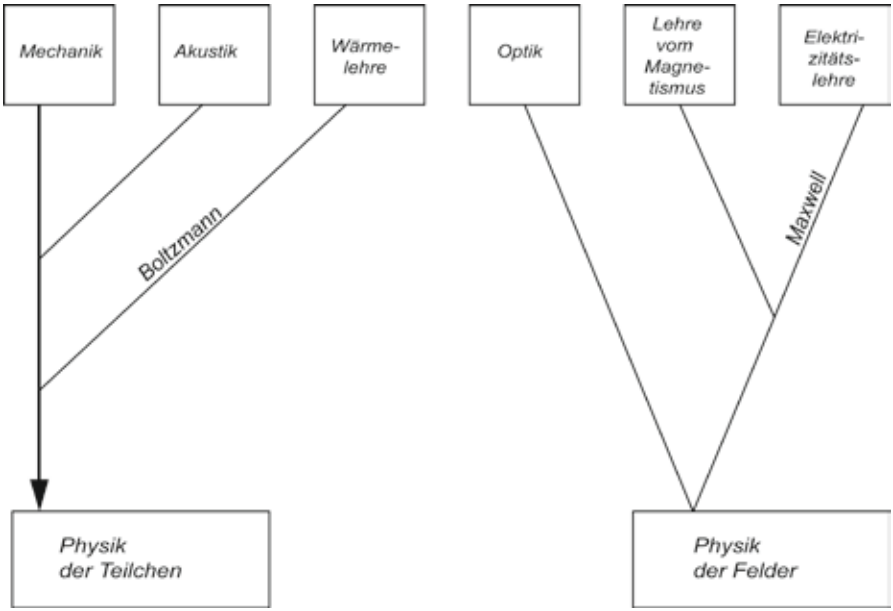

Abb. 1: Physik zu Ende des 19. Jahrhunderts: Die speziellen Disziplinen lassen sich zwei physikalischen Objektklassen zuordnen.

Wegen der eindeutigen Zuordnung von Objekten und Theorien ließen sich die entsprechenden Erkenntnisse der klassischen Physik leicht *ontologisieren*. Es entstand der Eindruck, dass – obgleich dies mathematisierten physikalischen Theorien auch bei ihrer Anwendung auf die der unmittelbaren Beobachtung zugänglichen physikalischen Erscheinungen der Anschaulichkeit entbehren – die Aussagen der Theorien direkte Naturbeschreibungen liefern. Das aber hieß, dass die entsprechenden naturwissenschaftlichen Theorien in eine *Ontologie* mündeten, die – vorausgesetzt, dass die Anwendungsbedin-

54 Ebenda.
55 W. I. Lenin, Zur Frage der Dialektik, in: Werke, Bd. 38, Berlin 1968, S. 344.

gungen für die naturwissenschaftliche Theorie gegeben waren – über Natur zu sprechen erlaubten, *ohne* dabei zugleich auch die *erkenntnistheoretischen Voraussetzungen* reflektieren zu müssen. Zwar vermochte man unter Hinweis auf Kants transzendentalphilosophische Erkenntniskritik einen solchen Schluss philosophisch durchaus abzulehnen; es war aber innerhalb der beiden hier besprochenen Theorien der klassischen Physik zunächst kein Grund dafür anzugeben, weshalb gerade die Kantsche Position zu akzeptieren sei. Im Gegenteil, die zahlreichen technischen Anwendungserfolge dieser Theorien führten eher zu Zweifeln an der Kantschen Sicht auf die Aktivität des erkennenden Subjekts.

Ein erster Hinweis auf die *Notwendigkeit*, Ontologie und Gnoseologie auch innerhalb der Physik als dialektische Einheit zu verstehen, ergab sich aus den Begründungsversuchen der Thermodynamik. Mit der *Thermodynamik* rückte ein *anderes Objektverständnis* für die Physik der mittleren Dimensionen in den Blick; mit den mikrophysikalischen Begründungsversuchen dieser Theorie aber stieß die Physik zugleich in einen Wirklichkeitsbereich vor, der bis dahin der naturwissenschaftlichen Forschung noch nicht zugänglich war.

2.2 Thermodynamische Systeme und statistische Gesamtheiten – zum dialektischen Zusammenhang zweier materieller Strukturniveaus

Die Thermodynamik ist als phänomenologische Theorie entstanden, die zur vollständigen Charakteristik der entsprechenden Systeme und deren zeitlicher Zustandsänderung spezifische physikalische Größen einführte und deren gesetzmäßige Verknüpfungen formulierte. Dabei spielte zunächst die Frage nach der Natur der Wärme keine Rolle. Nachdem die Ansätze zur kinetischen Gastheorie entwickelt waren und hypothetisch angenommen wurde, dass die durchschnittliche kinetische Energie der sich chaotisch bewegenden Moleküle der phänomenologisch bestimmten Temperatur proportional sei, entstand die Frage, wie die makrophysikalische Theorie mikrophysikalisch zu begründen sei. Innerhalb dieser Begründungsversuche ging es in der Physik erstmalig darum, die Zusammenhänge zweier unterschiedlicher materieller Strukturniveaus aufzuklären.

Thermodynamische Systeme sind makrophysikalische Objekte, die gemäß der genannten Hypothese aus einer Vielzahl von mikrophysikalischen Objekten bestehen. Letztere werden innerhalb der statistischen Mechanik als Gesamtheiten behandelt, wobei für das Verhalten der Elemente dieser Gesamtheiten die Bewegungsgesetze für Einzelobjekte unterstellt sind. Jedes dieser Elemente eines Systems bewegt sich im Feld aller übrigen, mit denen es wechselwirken kann. Das *Begründungsproblem der Thermodynamik* besteht in der Frage, inwiefern die Gesetze des Verhaltens von Gesamtheiten aus den Gesetzen des Verhaltens ihrer Elemente folgen. Es läuft also letztlich auf ein Reduktionsproblem hinaus.[56] Dabei muss gesichert werden, dass *erstens* die *mikrophysikalische Beschreibung* makrophysikalischer Größen möglich ist,

56 Vgl. U. Röseberg, Determinismus und Physik, Berlin 1975, S. 104 ff.

zweitens ein *thermodynamisches Gleichgewicht* für geschlossene Systeme existiert und *drittens* die zum Gleichgewicht führenden Prozesse (*Irreversibilität*) erfasst werden.

Der gegenwärtige Forschungsstand ist durch Erkenntnisfortschritte bei der Lösung dieser drei Teilaufgaben charakterisiert. Es kann aber keine Rede davon sein, dass die Thermodynamik vollständig durch die statistische Mechanik begründet sei. Zwar haben sich bezüglich der zusätzlichen, nicht aus der Mechanik begründbaren Annahmen gegenüber den von Boltzmann und Gibbs entwickelten Vorstellungen Modifikationen und Präzisierungen ergeben; diese gehen jedoch keineswegs in Richtung auf einen generellen Verzicht derartiger Annahmen. So ist beispielsweise der Übergang aus der *mikrophysikalischen* Beschreibung im 6N-dimensionalen Phasenraum (N-Teilchenzahl) zur *makrophysikalischen* Beschreibung im Raum einer wesentlich niedrigeren Dimensionszahl möglich. Was dabei aber ein vollständiger Satz makrophysikalischer Messgrößen ist, lässt sich nicht mehr mikrophysikalisch bestimmen, sondern folgt aus der makrophysikalischen Theorie. Diese *Beschreibungsreduktion* vom höherdimensionalen mathematischen Darstellungsraum der Mikrophysik zum mathematischen Darstellungsraum der makrophysikalischen Thermodynamik ist an die Existenz charakteristischer *Zeitintervalle* der jeweiligen Systeme gebunden, die zwar experimentell bestimmbar sind, sich allerdings nicht aus deren mechanischen Eigenschaften herleiten lassen. Die *makrophysikalische Irreversibilität* wird über spezielle Annahmen bezüglich der Abkoppelung des betrachteten Systems von anderen Systemen eingeführt (Anfangs- und Randbedingungen).

Diese durch detailliertere Untersuchungen weiter zu präzisierenden Feststellungen nötigen zu dem Schluss, dass mit der statistischen Mechanik und der phänomenologischen Thermodynamik *zwei* nicht vollständig aufeinander reduzierbare *Betrachtungsweisen eines physikalischen Objektbereichs* vorliegen. Dieser Objektbereich besteht aus *zwei* deutlich voneinander unterscheidbaren und zugleich aufeinander bezogenen *materiellen Strukturniveaus* (mikrophysikalische Elemente in Gestalt von mechanisch beschreibbaren Teilchen und dem makrophysikalischen System in Gestalt von thermodynamisch beschreibbaren Gesamtheiten). Der gegenwärtige Erkenntnisstand verweist darauf, dass diese Situation nicht mit metaphysischen Denkkategorien zu bewältigen ist, sondern *dialektisches Denken* als heuristische Orientierung der weiteren, mit hohem mathematischem Aufwand betriebenen physikalischen Forschungsarbeiten erfordert.

Im Zusammenhang mit der Begründungsproblematik der Thermodynamik hat das bis dahin in der Physik vor allem zur Kalkulation der Messfehler benutzte mathematische *Wahrscheinlichkeitskonzept*[57] eine völlig neuartige Funktion bekommen. Die Bestimmung von Gleichgewichtszuständen und jener auf die Gleichgewichtszustände zuführenden Prozesse verlangen nach wahrscheinlichkeitstheoretischen

57 Zur Geschichte dieses Problems siehe: I. Schneider, Die Entwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie. 15. Jahrhundert – 1932, Berlin 1987; L. Krüger/G. Gigerener/M. S. Morgan (eds.), The Probabilistic Revolution. Volume 2: Ideas in the Sciences, Cambridge – London 1987, S. 371 ff.

Betrachtungen. Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik sind aus der Perspektive dieser physikalischen Forschungsarbeiten nicht mehr länger ausschließlich als methodische Hilfsmittel zur Beherrschung subjektiven Nichtwissens zu charakterisieren. Sie erscheinen nunmehr vor allem als unverzichtbare mathematische Hilfsmittel zur adäquaten Abbildung von *objektiven* Zufällen, der *Dialektik von Zufall und Notwendigkeit* sowie der *Dialektik von Möglichkeit und Wirklichkeit*.[58] – J. V. Sačkov hat darauf verwiesen, daß *wahrscheinlichkeitstheoretische Überlegungen* immer dann ins Spiel kommen, wenn der Zu*sammenhang zweier materieller Strukturniveaus innerhalb* einer Theorie zu erfassen ist.[59] H. Hörz hat in Verallgemeinerung der Physikentwicklung und dazu parallel verlaufender Trends anderer Wissenschaften eine *philosophische Gesetzeskonzeption* vorgeschlagen, der gegenwärtig im Hinblick auf die weiteren Diskussionen zu den Gesetzmäßigkeiten von Entwicklungsprozessen wachsende Bedeutung zukommt.[60] Danach wird ein das System- und Elementarverhalten charakterisierendes Gesetz gefasst als allgemein-notwendiger, das heißt reproduzierbarer und wesentlicher, das heißt den Charakter der Erscheinungen bestimmender Zusammenhang, wobei die existierende Systemmöglichkeit notwendig verwirklicht wird (*dynamischer Aspekt*), für die Verwirklichung der Elementmöglichkeiten sich eine stochastische Verteilung der Wahrscheinlichkeiten (s*tochastischer Aspekt*) ergibt, und für ein Element eine Wahrscheinlichkeit der Verwirklichung einer bestimmten Möglichkeit (*probabilistischer Aspekt*) existiert.[61]

2.3 Determinationstypen physikalischer Bewegungsgleichungen

Dem hier in philosophischer Allgemeinheit bestimmten Gesetz lässt sich innerhalb mathematisierter physikalischer Theorien ein Determinationstyp der entsprechenden Bewegungsgleichungen zuordnen, der wie folgt zu charakterisieren ist: Wahrscheinlichkeitsverteilungen physikalischer Messgrößen bzw. andere wahrscheinlichkeitstheoretisch interpretierbare Größen des physikalischen Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt determinieren eindeutig entsprechende Größen zu jedem beliebigen anderen Zeitpunkt.[62] Dieser Determinationstyp tauchte erstmalig mit der Entwicklung der

58 Vgl. H. Hörz, Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft, Berlin 1974; H. Hörz, Zufall – Eine philosophische Untersuchung, Berlin 1980 [Siehe auch: http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/philosophie.html]; Sovremennyj determinizm zakony prirody, Moskva 1973; Sovremennyj determinizm i nauka. Tom 2: Problemy determinizma v estestvennych naukach, Novosibirsk 1975.
59 Vgl. J. V. Sačkov, Wahrscheinlichkeit und Struktur, Berlin 1978, S. 34 ff.
60 Vgl. H.-D. Pöltz, Zur Struktur von Entwicklungsprozessen in: H. Hörz/ J.-F. Wessel (Hrsg.), Struktur – Bewegung – Entwicklung, Berlin 1985, S. 135-146.
61 Vgl. H. Hörz/U. Röseberg (Hrsg.), Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis, Berlin 1981, S. 49.
62 Vgl. hierzu und zum folgenden: U. Röseberg, Determinismus und Physik, Berlin 1975, S. 15 ff.

kinetischen Gastheorie und der statistischen Begründung der Thermodynamik auf; er erlangte in der nichtrelativistischen Quantenmechanik fundamentale Bedeutung.[63] Ihm ging ein anderer Determinationstyp historisch voraus; deshalb wollen wir ihn hier als „*Determinationstyp II*" bezeichnen und den ihm historisch und systematisch vorausgehenden als „*Determinationstyp I*" kennzeichnen. Die Newtonsche Mechanik, die Maxwellsche Elektrodynamik und die phänomenologische Thermodynamik sind Theorien, deren Bewegungsgleichungen dem *Determinationstyp I* unterliegen. Dieser ist dadurch charakterisiert, dass ein vollständiger Satz physikalischer Messgrößen (nicht Wahrscheinlichkeitsverteilungen oder andere wahrscheinlichkeitstheoretisch interpretierbare Größen dieser Messgrößen) den Zustand eines physikalischen Systems bestimmt. Der Zustand eines Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt determiniert dann eindeutig den Zustand dieses Systems zu jedem beliebigen anderen Zeitpunkt in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Der mechanische Materialismus war in Gestalt des Laplaceschen Determinismus davon ausgegangen, dass alle Gesetze der Physik diesem Determinationstyp gehorchen und hatte sich zudem noch ausschließlich an der Mechanik orientiert. Das Wesen der *metaphysischen Determinismusauffassung* wird aber nicht entscheidend modifiziert, wenn auch die Elektrodynamik und die phänomenologische Thermodynamik noch in die Betrachtung einbezogen sind.

Nachdem die statistischen Gesetze in der Physik Einzug gehalten hatten, kam es zu einer metaphysischen Determinismusauffassung, die davon ausging, dass alle Bewegungsgesetze der Physik eigentlich dem Determinationstyp II entsprechen und der Determinationstyp I lediglich eine Näherung darstelle, die unter genauer zu untersuchenden Bedingungen praktisch ausreichend sei. Die voranstehenden Ausführungen zum Begründungsproblem der Thermodynamik haben die Notwendigkeit angezeigt, die *metaphysische Alternative entweder Determinationstyp I oder Determinationstyp II* kritisch zu hinterfragen. In jüngster Zeit nun sind innerhalb des Gültigkeitsbereichs beider Determinationstypen Entwicklungen eingetreten, die noch deutlicher darauf verweisen, dass auch die mathematisierten theoretischen Entwürfe der Physik *dialektisches Denken* verlangen. Wir wollen dies hier nur für den Fall des Determinationstyps I aufgreifen.

Den Problemen, um die es im folgenden gehen soll, näherten sich Theoretiker wie Born, Feynman u. a. mit der sich aus dem prinzipiell probabilistischen Verständnis einiger quantentheoretisch bestimmter Messgrößen ergebenden Frage, *wie* deterministisch eigentlich die Newtonsche Mechanik sei. Born bemerkte drastisch, „daß die kl(assische) Mech(anik) gerade so wenig deterministisch brauchbar ist, wie ein Igel oder Stachelschwein als Arschwisch."[64]

63 Auf die dabei veränderte erkenntnistheoretische Situation wird ausführlicher in 4. Abschnitt eingegangen.

64 M. Born, im Brief vom 11.1.1954 an E. Schrödinger, in: Archive for History of Quantum Physics, Microfilm 37, 3, Niels Bohr Archiv Kopenhagen. Siehe dazu auch: U. Röseberg, Determinismus und Physik, a. a. O., S. 76 ff.

Feynman zeigte, dass ein Aufbau der Quantenmechanik mit Trajektorien möglich ist, wobei allerdings das Bahnkonzept der klassischen Mechanik in allen wesentlichen Punkten aufgegeben werden muss.[65] Heute lassen sich die damit aufgeworfenen Probleme des Determinismus mathematisch wesentlich eleganter mittels *Chaostheorie* behandeln.[66]

Diese Theorie wird sowohl für *konservative* als auch *dissipative Systeme* ausgearbeitet. *Konservative* Systeme sind solche, in denen Erhaltungssätze als Konsequenz der reversiblen Bewegungsgleichungen gelten, die gemäß dem Noether-Theorem mit Symmetrieeigenschaften von Raum und Zeit verbunden sind. In der klassischen Mechanik gelten der Energie-, der Impuls- und der Drehimpulserhaltungssatz; sie ergeben sich aus der Homogenität der Zeit, der Homogenität und der Isotrophie des Raums. *Dissipative* Systeme zeigen im Unterschied zu konservativen Systemen *irreversibles* Verhalten. Als einfachstes Beispiel von Dissipation ist die Umwandlung von mechanischer Energie in Wärmeenergie bei Reibung anzuführen. Im folgenden wollen wir uns ausschließlich mit konservativen Systemen der klassischen Mechanik beschäftigen.

Bei der Bewegung von Himmelskörpern im kosmischen Raum gilt die mechanische Theorie konservativer Systeme mit praktisch hinreichender Genauigkeit. Die bei allen übrigen mechanischen Bewegungen nicht vernachlässigbaren Reibungsphänomene sind relativ leicht über entsprechende Korrekturglieder zu berücksichtigen. Mit der Newtonschen Mechanik wurden Erfolge erzielt, die die *Determinismusauffassung* der Physiker über nahezu drei Jahrhunderte geprägt haben. Die phänomenologische Thermodynamik, die statistischen Begründungsversuche dieser Theorie und die Quantenmechanik führten zwar zu Zweifeln an der Allgemeinheit des Determinationstyps I, ließen aber faktisch bis vor kurzem die Auffassung völlig unangetastet, dass bei Kenntnis des Anfangszustände eines mechanischen Systems alle anderen Zustände im Prinzip mit beliebiger Genauigkeit zu berechnen seien. Als konsensfähig erschien die These, dass innerhalb des Determinationstyps I *Zufälle* lediglich Ausdruck ungenauer Kenntnisse seien, ihnen also innerhalb objektiver Naturbeschreibungen *keine prinzipielle Bedeutung* zukomme. Genau das aber hat sich inzwischen sehr radikal geändert. Dieser *revolutionäre Umbruch* im Naturverständnis auf der Ebene der mittleren Dimensionen hat sich zwar allmählich vorbereitet, er gelangt aber erst seit wenigen Jahren zunehmend ins wissenschaftliche Bewusstsein.

Begonnen hat diese Entwicklung mit Poincaré qualitativer Dynamik ausgangs des 19. Jahrhunderts. Damals ging es um die Frage, ob das Sonnensystem für beliebig lange Zeiten stabil bleiben könne. Bei derartigen Untersuchungen wird die *Unveränderlichkeit* der Sonne und der anderen Himmelskörper unterstellt – aus der Perspektive

65 Vgl. U. Röseberg, Determinismus und Physik, a. a. O., S. 89 ff.
66 Vgl. B. B. Mandelbrot, Die fraktale Geometrie der Natur, Stuttgart 1987; I. Prigogine, Vom Sein zum Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften, München – Zürich 1979, S. 143 ff.; H. G. Schuster, Deterministic Chaos. An Introduction, Weinheim 1984.

heutiger kosmogonischer Erkenntnisse eine unzulässige Vereinfachung. Aber nicht diese Idealisierung führte zu den merkwürdigen Resultaten. Poincaré konnte nämlich zeigen, dass selbst beim Dreikörperproblem unter bestimmten Bedingungen die *klassischen Bahnvorstellungen* völlig unzureichend werden. Heute spricht man in diesem Zusammenhang vom „*deterministischen Chaos*". Das ist dadurch charakterisiert, dass minimal kleine Abweichungen von einem fixierten Anfangszustand in begrenzten Raumgebieten zu exponentiell mit der Zeit anwachsenden Abweichungen benachbarter Bahnen führen, also die Voraussagbarkeit zukünftiger Zustände des Systems prinzipiell nicht mehr gegeben ist und der klassische Bahnbegriff seinen Sinn verliert.

Diese Untersuchungen wurden von Kolmogorov, Arnold und Moser zwischen 1954 und 1967 wieder aufgenommen. Sie haben schließlich zu dem Ergebnis geführt, dass die Bewegung im Phasenraum der klassischen Mechanik mit seinen 6N-Dimensionen weder vollständig irregulär noch regulär ist. Der Bewegungsverlauf wird in ganz entscheidender Weise von den *Anfangsbedingungen* bestimmt. Damit steht unzweifelhaft fest, dass auch in Systemen, die dem Determinationstyp I unterliegen, bereits beginnend mit 3 Teilchen *Chaos* entstehen kann. Die Theorie erlaubt inzwischen verschiedene Typen des Chaos zu unterscheiden und hat – unter Einschluss der Dissipation – tiefe Einsichten in den *dialektischen Zusammenhang von Ordnung und Chaos* erbracht (siehe dazu 5.).

Die vom Standpunkt des mechanischen Determinismus völlig unverständlichen Erkenntnisse sind mathematisch an die *Nichtlinearität* der Bewegungsgleichungen gebunden. Solange lineare Näherungen ausreichen, ist der *Laplacesche Determinismus* eine mindestens mit der Newtonschen Mechanik verträgliche philosophische Verallgemeinerung. Trifft dies nicht mehr zu, sind also Nichtlinearitäten zu berücksichtigen, dann stimmt der Laplacesche Determinismus nicht einmal mehr mit der Newtonschen Mechanik überein. Damit aber liegt einer der überzeugendsten Belege für die Tatsache vor, dass selbst als „abgeschlossen" geltende physikalische Theorien zu fundamentalen Erkenntnisfortschritten führen können, die das physikalische Naturverständnis zu revolutionieren vermögen.[67]

Die Physik der mittleren Dimensionen enthält, wie gegenwärtig der durch den Computereinsatz möglich und notwendig gewordene *Aufschwung der modernen Mechanikforschung* nachdrücklich belegt, sicher auch in der Zukunft noch manche Überraschung. Die Dialektik des Erkenntnisprozesses scheint in keinem Bereich der physikalischen Forschungsgebiete erstarren zu können. Deshalb bleibt wohl auch die philosophische Reflexion der von der Physik der mittleren Dimensionen erzielten Erkenntnisresultate eine immer wieder neu zu lösende Aufgabe.

67 Vgl. G. Nicolis/I. Prigogine, Die Erforschung des Komplexen. Auf dem Weg zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften, München 1987.

2.4 „Klassische" und „moderne" Physik

Die Herausbildung der *Relativitäts-* und der *Quantentheorie* und der stürmische Fortschritt der im 19. Jahrhundert entstandenen *statistischen Physik* stellen jene revolutionäre Einschnitte in der Physikentwicklung des 20. Jahrhunderts dar, die dazu geführt haben, „*klassische*" und „*moderne Physik*" zu unterscheiden. Zur Dialektik dieses Prozesses gehört es, daß die „moderne Physik" nicht nur *historisch*, sondern auch *systematisch* ohne die „klassische Physik" nicht existieren könnte. Beispielsweise sind und bleiben für physikalische Messgeräte klassische Mechanik, klassische Elektrodynamik und Optik die entscheidenden theoretischen Voraussetzungen. Aber auch die sich mit der „modernen Physik" ergebenden neuen Möglichkeiten zur theoretischen Erklärung natürlicher Erscheinungen besagen keineswegs, dass das Erklärungspotential der „klassischen Physik" bereits ausgeschöpft ist. Wie wir soeben gesehen haben, wird eine Reihe sehr zeitgemäßer physikalischer Forschungen heute noch ausschließlich mit den Mitteln der „klassischen Physik" ausgeführt. In der Regel aber werden dabei natürlich Hilfsmittel (theoretischer und experimenteller Natur) benutzt, die im vergangenen Jahrhundert noch nicht zur Verfügung standen. Die Nutzung modernster Geräte und Verfahren besagt jedoch keinesfalls, dass damit die entsprechenden Untersuchungen den Rahmen der „klassischen Physik" sprengen. Außerdem tauchen bei vielen Forschungsaufgaben, die eindeutig dem Kontext der „modernen Physik" zuzuordnen sind, immer wieder Fragen und Probleme auf, die mit den Mitteln der „klassischen Physik" zu lösen sind. Dies gilt es zu beachten, wenn wir unsere Untersuchungen zur Dialektik der physikalischen Erkenntnis nunmehr auf exemplarisch *ausgewählte Probleme der „modernen Physik"* konzentrieren.

3. Relativitätstheorie und evolutionärer Kosmos

3.1 Relativitätserkenntnis – Eindringen in die Dialektik des Zusammenhangs

Relativitätserkenntnis ist nicht neu. Sie spielt seit dem antiken Denken eine Rolle. Oft wird sie als weltanschauliches und erkenntnistheoretisches Dilemma angesehen. Tatsächlich jedoch stellt die Erkenntnis der Relativität von Erscheinungen, Bewegungen, Größen usw. ein tieferes Eindringen in das *Wesen der Erscheinungen* dar.[68] So bedeutet die von Copernicus vorgenommene Relativierung in der Kosmologie eine Vereinheitlichung der Weltsicht, die Aufhebung der aristotelischen Entgegensetzung von Erde und Himmel und den Beginn der Erkenntnis der naturgesetzlichen Einheit

68 Vgl. H. Hörz/U. Röseberg (Hrsg.), Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis, Berlin 1981, S. 150; F. Gelhar, Relativität und Dialektik, in: DZfPh 2/1979. Vgl. auch Lenins Kritik am Relativismus in „Materialismus und Empiriokritizismus".

von Irdischem und Kosmischem.[69] Das relativistische Gedankengut der *Einsteinschen Theorien* bestätigt die dialektisch-materialistischen Auffassungen von Materie, Bewegung, Raum und Zeit; vor allem aber ist es Anlass und Anregung zur weiteren Präzisierung und detaillierteren Ausarbeitung der philosophischen Theorie.[70]

Dialektische Kritik der Substanzkonzeption des mechanistischen Weltbildes und *relativistische Auffassung von Raum, Zeit, Bewegung, Masse usw.* liegen in einer Entwicklungslinie. Wenn Engels im Anschluss an Feuerbach sagt, dass es die „Materie als solche" nicht gäbe,[71] dann lehnt er damit die Auffassung von einer letzten, unveränderlichen Substanz ab, die allen materiellen Erscheinungen zugrunde liegen soll. Eine derartige „Urmaterie" wäre der ewige, unveränderliche Träger wechselnder Eigenschaften und Beziehungen. Wenn es jedoch diesen letzten, irreduziblen „Rest" in der materiellen Welt nicht gibt, dann müssen die *materiellen Erscheinungen* voll und ganz *durch ihre Eigenschaften und Beziehungen bestimmt*, durch diese konstituiert sein.[72]

Konsequenz eines derartigen Materieverständnisses ist es, wenn die Frage nach dem Verhältnis von Materie und ihren Eigenschaften – für Untersuchungen, die über den Rahmen der Grundfrage der Philosophie hinausgehen – dahingehend präzisiert wird, dass nach dem Verhältnis bestimmter Eigenschaften der Materie zu anderen Eigenschaften und Beziehungen gefragt wird. Auf physikalischer Ebene bedeutet dies z. B., dass der so genannte *Materietensor* der Einsteinschen Gravitationsgleichungen nicht etwa eine Verteilung der „Materiemenge" angibt; vielmehr zeigen die Gleichungen, dass bestimmte quantitative Charakteristika physikalischer Eigenschaften der Materie wie Massenverteilung, Massenstromdichte, Energiedichte, Impulsdichte, Drücke in gesetzmäßigen Beziehungen zu anderen materiellen Eigenschaften, zur Geometrie der Raum-Zeit, die als Gravitationsfeld gedeutet wird, stehen.[73]

Im Verhältnis von *Materie, Raum und Zeit* erscheint das – im obigen Sinne präzisierte – allgemeine Verhältnis der Materie zu ihren Eigenschaften in spezifischer Weise. *Raum und Zeit* werden in der Physik *in ihren Beziehungen zu anderen physikalischen Größen und Beziehungen* untersucht. Treten sie – wie im Weltbild der *klassischen Mechanik* – als *absolute Größen* auf, unabhängig voneinander und anderen Größen,

69 Vgl. F. Gehlhar, Wie der Mensch seinen Kosmos schuf. Eine kleine Kulturgeschichte der Astronomie, Berlin 1996.

70 Die „Materie-Diskussion", die in der DDR und anderen sozialistischen Ländern geführt wurde, entspann sich gerade an der philosophischen Deutung der Ergebnisse der Relativitätstheorie. Vgl. F. Gelhar, Die Rolle der Materiediskussion bei der Durchsetzung der Leninschen Materieauffassung, in: Geschichte der marxistisch-leninistischen Philosophie in der DDR, Berlin 1979, S. 354-401.

71 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA. Erste Abteilung, Bd. 26, Berlin 1985, S. 399.

72 Vgl. H. Vogel, Über die Materie und ihre Eigenschaften, in: DZfPh, 1-2/1960; H. Hörz, Über die Materie und ihre Existenzformen, in: DZfPh 8/1960.

73 Vgl. A. Griese, Philosophisch Raum-Zeit-Problematik und moderne Geometrodynamik, in: DZfPh, Sonderheft 1966.

so erweisen sie sich in der *speziellen Relativitätstheorie* als *voneinander abhängige Größen*. Gemäß der Lorentz-Transformation gehen Raum- und Zeitkoordinaten gegenseitig in ihre Transformationen ein. Räumliche Abstände und Zeitintervalle sind relativ. Analog sind andere Größen wie Impuls oder Masse vom Bewegungszustand des physikalischen Systems abhängig. Sehr deutlich wird die vertiefte Einsicht der speziellen Relativitätstheorie in den dialektischen Zusammenhang physikalischer Größen dadurch, dass in ihr nicht mehr die Raumabstände und Zeitintervalle für sich Invarianten beim Wechsel der Bezugssysteme darstellen, sondern der Abstand von *Ereignissen* $(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2\ (dz)^2 \rightarrow c^2\ (dt)^2$ als grundlegende Invariante der Lorentz-Transformation auftritt.

3.2 Das Relativitätsprinzip – philosophische Deutungen

Auf Grund der überragenden Rolle des *Relativitätsprinzips* bei der Herausbildung der relativistischen Physik vermag die Analyse seines philosophischen Gehalts wertvollen Aufschluss über die *heuristische Wirkung philosophischer Gedankengänge* bei der Entwicklung physikalischer Theorien zu liefern. Dazu existiert in der philosophischen Literatur eine Vielzahl von Diskussionen.[74] Diese reflektieren weitgehend die von Einstein selbst gegebenen Deutungen und seine Handhabung des Relativitätsprinzips. Einstein hebt vor allem folgende Gedanken hervor:

a) Die Gesetze der Galilei-Newton-Mechanik stimmen für alle Inertialsysteme überein und nehmen für diesen Typ von Bezugssystemen offenbar die einfachste Form an.[75] Die Einsicht in die beschränkte Gültigkeit der klassischen Mechanik führte dazu, die *universelle Gültigkeit des Relativitätsprinzips* zur Diskussion zu stellen. Es zeigte sich aber, dass die elektrodynamischen Erscheinungen nur von der Relativbewegung der in sie eingehenden Objekte abhängen.[76] Mit der Neufassung des Gleichzeitigkeitsbegriffs und der Herausarbeitung der damit zusammenhängenden Relativität von Raum und Zeit sowie der Auffassung der Invarianz der Vakuumlichtgeschwindigkeit als eines neuen Naturgesetzes erhält man damit das über die Lorentz-Transformation vermittelte spezielle Relativitätsprinzip, das *Prinzip der „Translationsrelativität"*[77], das Mechanik und Elektrodynamik eine gemeinsame, einheitliche Grundlage gibt.

74 Ausführlicher mit Literaturangaben in: Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis, a. a. O., S. 155 ff.
75 Vgl. A. Einstein, Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie, Berlin – Oxford – Braunschweig 1970, S. 15.
76 Vgl. A. Einstein, Zur Elektrodynamik bewegter Körper, in: Annalen der Physik, Vierte Folge, Bd. 17, Leipzig 1905, S. 891.
77 Vgl. A. Einstein, Grundzüge der Relativitätstheorie. Berlin – Oxford – Braunschweig 1970, S. 28.

b) Indem sich das spezielle Relativitätsprinzip für eine große Klasse von Erscheinungen bewährt hat, sei Grund zu der Annahme gegeben, es auf beliebige Bezugssysteme verallgemeinern zu können.[78] Den konkreten Ansatzpunkt hierzu liefert das *Äquivalenzprinzip*.[79] Mit der Kombination der Forderungen nach allgemeiner *Kovarianz* (Forminvarianz der physikalischen Gesetze) und universeller Gültigkeit der Aussage von der lokalen Äquivalenz von träger und schwerer Masse wurde den Naturgesetzen eine weitgehende Beschränkung auferlegt. Darin liege die besondere „Spürkraft", die dem *allgemeinen Relativitätsprinzip* innewohnt.[80]

Einstein muss in einer Reihe von Diskussionen zu Kritiken an der allgemeinen Relativitätstheorie, insbesondere zum Trivialitätsvorwurf, gegenüber der allgemeinen Kovarianzforderung Stellung nehmen.[81] Seine Antwort hierzu lautet: Der „entscheidende Inhalt der Allgemeinen Relativitätstheorie sei nicht im Kovarianzprinzip, sondern im Äquivalenzprinzip enthalten ... Das Kovarianzprinzip ist für Einstein jetzt nur ein mathematisches Hilfsmittel, das Äquivalenzprinzip konsistent zu formulieren."[82]

c) Mit dem *Übergang* vom Galileischen Relativitätsprinzip über das spezielle *zum allgemeinen Relativitätsprinzip* ist die Einsicht in die Relativität einer zunehmenden Zahl physikalischer Größen verbunden. In der allgemeinen Relativitätstheorie ist auch die Translationsbeschleunigung relativ, jedoch nicht die Rotationsbeschleunigung. Bei den Versuchen zur Weiterentwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie gehe es darum, ob in Übereinstimmung mit dem *Machschen Prinzip* „die Trägheit in einer Art Wechselwirkung der Körper ihren Ursprung hat"[83], oder ob dieses Prinzip nicht zu rechtfertigen sei. Es wird versucht, Gravitationstheorien zu entwickeln, in denen das Machsche Prinzip voll verwirklicht ist,[84] oder solche, in denen die Relativität der Rotationsbeschleunigung dadurch erfasst werden soll, dass der Raum nicht nur der Riemannschen Krümmung, sondern zusätzlich noch einer *Torsion* unterworfen ist.[85]

In einem aktuellen Entwurf zu einer relativistischen Gravitationstheorie wird davon ausgegangen, dass die Relativierungen der allgemeinen Relativitätstheorie zu weitgehend sind. Dass in ihrem Rahmen die *Erhaltungssätze von Energie und*

78 Vgl. ebenda, S. 58 f.
79 Vgl. ebenda, S. 60.
80 Vgl. A. Einstein, Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie, a. a. O., S. 79.
81 Zum Beispiel in Diskussionen mit M. Abraham, F. Kottler, P. Lenard, E. Reichenbacher, E. Kretschmann u. a.
82 H.-J. Treder, Die ersten Kritiker des allgemeinen Relativitätsprinzips, in: H.-J. Treder, Philosophische Probleme des physikalischen Raumes, Berlin 1974, S. 277.
83 A. Einstein, Brief an E. Mach vom 25.6.1913, zit. bei H. Hönl, Das Machsche Prinzip und seine Beziehung zur Gravitationstheorie Einsteins, in: Entstehung, Entwicklung und Perspektiven der Einsteinschen Gravitationstheorie, Berlin 1966, S. 244.
84 Vgl. H.-J. Treder, Die Relativität der Trägheit, Berlin 1972.
85 Vgl. C. MøIler, On the Crisis in the Theory of Gravitation and a possible Solution, København 1978.

Drehimpuls nicht gelten, wird von Logunov und Mitarbeitern als physikalisch unhaltbar empfunden. Es wird auf den ebenen, quasi-euklidischen Minkowski-Raum zurückgegangen. Zwar erfolgt die Beschreibung von Bewegungen im Gravitationsfeld mittels Riemannscher Räume, diese sind dabei aber sekundärer Natur. Auch das entsprechende Relativitätsprinzip unterscheidet sich wesentlich vom allgemeinen Relativitätsprinzip: Für ein beliebiges Bezugssystem lassen sich immer unendlich viele andere Bezugssysteme finden, in denen alle physikalischen Effekte die gleichen sind wie im Ausgangsystem, so dass es keine experimentellen Methoden geben kann, um zu unterscheiden, in welchem dieser unendlich vielen Systeme sich der Beobachter befindet.[86] Die Hauptrichtung heutiger Bemühungen zur Weiterentwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie ist jedoch mit dem Ziel verbunden, die *Quantelung der Gravitation* und ihren Zusammenhang mit den anderen fundamentalen Wechselwirkungen erfassen zu können.

Gewiss bedarf der mit dem Relativitätsprinzip verbundene Fragenkomplex einer weiteren und vertieften Analyse. Hier soll detaillierter nur auf einen der entscheidenden Aspekte, den der Problematik von *Gesetz und Gesetzeserkenntnis* eingegangen werden. Einsteins Überlegungen hierzu gehören zu den methodischen Fundamenten moderner Entwicklung in der Physik. Sie sind aber auch nicht frei von Inkonsistenzen. So schreibt er einerseits[87]: An und für sich sei es klar, dass jede Aussage einer physikalischen Theorie den Anspruch auf „objektive Bedeutung" erhebe. Problematisch werde es jedoch, wenn es verschiedene, physikalisch gleichberechtigte Beschreibungsweisen eines Sachverhalts gibt. Dann könne man den einzelnen Größen, z. B. der x-Komponente der Geschwindigkeit, „keine volle objektive Bedeutung" zuweisen. Da es nun in der Physik stets mehrere Beschreibungsweisen eines Sachverhalts gibt, müssten „wir uns darauf beschränken, den allgemeinen Gesetzen der Theorie objektive Bedeutung zuzuschreiben". Die *allgemeinen Gesetze der Theorie* seien nun diejenigen Zusammenhänge, deren Form gegenüber den entsprechenden raumzeitlichen Transformationen invariant ist. Somit bedeute das *Relativitätsprinzip eine „Verfeinerung des Objektivitätsbegriffs"*.

Nun hebt Einstein an anderer Stelle selbst die *Objektivität des Relativen* hervor.[88] In der Beantwortung der Frage nach der Realität der relativistischen Effekte betont er, dass es keinen Sinn habe, Größen – je nachdem sie vom Koordinatensystem abhängig oder unabhängig sind – als „nichtreale" oder „reale" einzustufen. Schon nach klassisch-physikalischen Überlegungen werde nicht auf diese Weise verfahren, wenn

86 Vgl. A. A. Logunov, New concepts of space-time gravity, in: Impact of science on society, 144 (1986), S. 409-414.
87 Vgl. A. Einstein, Bemerkungen zu den in diesem Band vereinigten Arbeiten, in: Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher, hg. von H. P. Schilpp, Stuttgart 1955, S. 505.
88 Vgl. A. Einstein, Dialog über Einwände gegen die Relativitätstheorie, Naturwissenschaften, 1926, S. 697-702.

man beispielsweise einem in einem fahrenden Zug liegenden Gegenstand in bezug auf den Bahndamm eine von Null verschiedene kinetische Energie zuschreibt, sie hinsichtlich des Zuges aber gleich Null setzt. Analoges gilt für die Trajektorien eines fallenden Gegenstandes hinsichtlich Zug und Bahndamm. Selbstverständlich haben hier die relativen Größen eine objektive Bedeutung. So sagen sie z. B. etwas über die unterschiedlichen Bewegungszustände der Bezugssysteme aus.

Auch wenn man eine gewisse Ambivalenz des Einsteinschen Sprachgebrauchs berücksichtigt,[89] bleibt sein Herangehen an die Lösung des Problems der Objektivität physikalischer Aussagen widerspruchsvoll. Die Deutung des Relativitätsprinzips, die letztlich auf die Gleichsetzung von Invariantem und Objektivem hinausläuft, ist eine Fehlinterpretation.[90] *In- oder Kovarianz* ist *nicht* mit der *Objektivität* physikalischer Gesetzesaussagen gleichzusetzen. Sie repräsentiert einen anderen Aspekt des Gesetzes, das Allgemeine, das *Wesen*, das bei dem Wechsel der Erscheinungen erhalten, eben *invariant* bleibt.

Freilich könnte man dies als Trivialität betrachten, denn das Wesen in den Erscheinungen aufzudecken, ist Aufgabe jeder wissenschaftlichen Erkenntnis. Die Spezifik des Relativitätsprinzips, seine große heuristische Wirkung („Spürkraft"), ergibt sich aus der eigentümlichen Kombination von mehreren Orientierungen: 1. Aufdeckung des Wesens, 2. Ausgehen von der gegenseitigen Bedingtheit, d. h. der Relativität wesentlicher physikalischer Parameter, 3. spezifische Ausrichtung der Suche nach Wesen und Bedingtheit physikalischer Vorgänge, nämlich unter dem Gesichtspunkt des Wechsels des Bewegungszustandes. Wie bereits erwähnt, besteht die Wirksamkeit des Relativitätsprinzips gerade darin, dass die Invarianzforderung für einen bestimmten, als universell angenommenen Zusammenhang (Konstanz der Vakuumlichtgeschwindigkeit, Äquivalenzprinzip) erhoben wird.

Fruchtbarkeit, methodische Wirkung und Verallgemeinerungsfähigkeit des Einsteinschen Herangehens werden noch deutlicher, wenn man die bisherigen Überlegungen in der „Sprache" der Symmetrieprinzipien weiterführt.

3.3 Symmetrie und Gesetz

Als „Symmetrie" kann man allgemein die Eigenschaft von Objekten bezeichnen, bei Veränderungen gewisse Charakteristika beizubehalten. Auf der Ebene physikalischer Theorien bedeutet das, dass der „Begriff der Transformationsgruppe für gewisse charakteristische Variablen der Theorie, die den einen oder anderen Ausdruck des dynamischen Gesetzes, das der betrachteten Theorie zugrunde liegt, invariant läßt",

89 Vgl. P. S. Dyslevyj, Materialističeskaja dialektika i fizičeskij reljativizm, Kiev 1972. Hier wird der vielfältige Sprachgebrauch der Termini „Realität" und „Relativität" durch Einstein analysiert.
90 Freilich eine Fehlinterpretation, die sich hartnäckig in der Literatur hält, so z. B. in A. N. Mateev, Mechanika i teorija otnositel'nosti, Moskva 1986, S. 63-66.

ein Schlüssel für das Verständnis jedes Symmetrietyps ist.[91] „Die Symmetrieprinzipien ... fallen dem Wesen nach mit dem *Relativitäts-* und *Invarianzprinzip* zusammen. Zumindest gilt es für die heutige Zeit" (268).

Symmetrieeigenschaften mathematisch charakterisiert durch bestimmte Transformationsgruppen, werden 1872 von F. Klein im „*Erlanger Programm*" zur Charakterisierung der verschiedenen Typen von Geometrien benutzt. In der Physik erhält dieses Konzept erst mit der Schaffung der *Relativitätstheorie* seine Bedeutung. „Gerade die Spezielle Relativitätstheorie bahnte den Weg zur Durchsetzung der invariantentheoretischen Betrachtungsweise als einer der dynamischen gegenüber fundamentaleren Konzeption. Heute wird das invariantentheoretische Konzept ... als eine der grundlegenden Komponenten des Denkens der theoretischen Physik anerkannt" (291). Aus moderner Sicht besteht eine *physikalische Theorie* aus drei wesentlichen Bestandteilen: *der fundamentalen Symmetriegruppe*, *den dynamischen Gesetzen* und der *Gesamtheit der physikalischen Größen*, *die Erhaltungssätzen unterliegen.* Die berühmten Theoreme von E. Noether stellen mathematische Beziehungen zwischen diesen Komponenten her, wobei die dynamischen Gesetze in variationstheoretischer Fassung herangezogen werden (311 ff.).

An und für sich sind Gedankengänge, in denen über Symmetrieüberlegungen und -operationen Ordnung und Gesetzmäßigkeit erfaßt werden sollen, sehr alt. So sind sie aus dem antiken Denken nicht wegzudenken (277 ff.). Man erinnere sich nur an das Platonische Prinzip der Kreissymmetrie und seine wissenschaftshistorischen Auswirkungen. Am Beginn der klassischen Mechanik haben Symmetrieüberlegungen eine wichtige heuristische Funktion, insbesondere im Denken von Galilei, Kepler, Huygens, Leibniz, Bernoulli u. a. gespielt (282 ff.). Auch Newtons Postulierung von absolutem Raum und Zeit ist Voraussetzung dafür, die universelle Gültigkeit der Gesetze der Mechanik in der Theorie zu verankern.

Mit der Ausgestaltung der Mechanik wird das Symmetriedenken durch die dynamische Betrachtungsweise weitgehend verdrängt. Mit der speziellen Relativitätstheorie, der besonderen Rolle ihres Relativitätsprinzips und der gruppentheoretischen Behandlung (Lorentz-Transformation als orthogonale Drehung im 4-dimensionalen Minkowski-Raum) wird Symmetriedenken für die physikalische Theorienentwicklung wieder grundlegend. P. Dirac schreibt 1930, die wachsende Anwendung der Theorie der Transformationen, welche anfangs in der Relativitätstheorie, danach in der Quantentheorie stattfand, stelle das *Wesen der neuen Methode in der theoretischen Physik* dar. Der weitere Fortschritt bestehe darin, unsere Gleichungen gegenüber einer umfassenderen Gruppe von Transformationen invariant zu machen (295 f.).

91 V. P Vazgin, Das Symmetrieprinzip, in: Metodologičeskie principi fiziki. istorija i sovremennost', Moskva 1975, S. 269. Die folgenden Ausführungen stützen sich weitgehend auf diese Arbeit, daher werden die Seitenangaben zu ihr im Text angeführt.

Rückwirkend werden die invariantentheoretischen Betrachtungen zugleich auf die klassische Mechanik angewandt. Die Symmetrieeigenschaften von Raum und Zeit werden als Grundlage für die Erhaltungssätze der klassischen Mechanik, aber auch der speziell-relativistischen Mechanik erkannt.[92] Die *Homogenität des Raumes* (Invarianz gegenüber Translationen) liegt dem Impulserhaltungssatz zugrunde. Die *Isotrophie des Raumes* (Invarianz gegenüber Drehungen) und die *Homogenität der Zeit* begründen den Drehimpuls bzw. den Energieerhaltungssatz. Bereits der Begriff des Inertialsystems setzt die genannten Symmetrieeigenschaften des Raumes voraus. Zugleich beruht die Ableitung der Lorentz-Transformation neben dem speziellen Relativitätsprinzip und dem Postulat der Invarianz der Vakuumlichtgeschwindigkeit auf der Annahme der Homogenität von Raum und Zeit. Diese garantieren die Linearität der Transformation.[93]

Somit wird deutlich, wie die *Symmetrieeigenschaften von Raum und Zeit bzw. der Raum-Zeit* von fundamentaler Bedeutung für den *Charakter der physikalischen Gesetze* sind. Zugleich beruht auf ihnen die Universalität der Gesetze. „Die wichtigsten Symmetrien sind die Naturgesetze selbst. Beispielsweise sind die Naturgesetze unabhängig davon, wann und wo sie angewendet werden..."[94]

E. Wigner charakterisiert in „Etüden über die Symmetrie" die Bedeutung der Symmetrieprinzipien so: Die Naturgesetze bestimmen die Ereignisse, die Symmetrien aber die Naturgesetze (272). In diesem Sinne erweisen sich die *Symmetrieprinzipien* in zunehmendem Maße als *Entwurfs- und Konstitutionsmittel der physikalischen Theorien* (296-318), die Suche nach neuen Symmetrien als Mittel zur Auflösung von Problemsituationen in der Physik (318 ff.) und der Übergang zu einer umfassenderen Symmetrie als Aspekt des korrespondenzmäßigen Anschlusses der neuen an die alte Theorie. Neben den *geometrischen* (*den raum-zeitlichen*) gibt es die sog. *inneren oder „dynamischen" Symmetrien* (274; 352). Wichtige Klassen der letzteren spielen eine entscheidende Rolle in den Elementarteilchentheorien.

Mit dem Übergang zu einer umfassenderen Theorie wird dem Sachverhalt Rechnung getragen, dass die Symmetrie, die der alten Theorie zugrunde lag, durch eine – neu entdeckte – Naturerscheinung verletzt wurde. So verletzt die Invarianz der Vakuumlichtgeschwindigkeit die Symmetrie, die dem Galileischen Relativitätsprinzip zugrunde liegt. Symmetrieverletzung ist also die Kehrseite beim Übergang zu einer neuen Theorie. Sie erweist sich noch in anderer Hinsicht als äußerst wichtig. *Symmetrieverletzungen und -brechungen* führen zum Erfassen von physikalischen Wechselwirkungen. Darüber hinaus sind sie ein entscheidender Aspekt von Strukturbildungsprozessen.

92 Vgl. z. B; A. N. Matveev Mechanika i teorija otnositelnosti, a. a. O., S. 148-152.
93 Vgl. ebenda, S. 78-80.
94 H. Genz/U. Deker, Das Konstruktionsmittel des Kosmos. Die Symmetrie birgt die Weltformel, in: Bild der Wissenschaft, 1/1986, S. 58.

3.4 Symmetriebrüche, Wechselwirkungen und Strukturbildung

Genau genommen gibt es drei Typen oder Aspekte von Symmetriebrüchen, die aber in einem engen Zusammenhang stehen. Es handelt sich erstens um die erwähnte Symmetrieverletzung, die auf die Notwendigkeit einer neuen Theorie mit umfassenderer Symmetrie hinweist. Die Symmetrie der früheren Theorie erweist sich als Teilsymmetrie. Zweitens geht es um die Brechung oder Aufhebung von globalen Symmetrien, und drittens schließlich um die Symmetriebrechung, die in Strukturbildungsprozessen auftritt.

Im Galileischen oder speziell-relativistischen Relativitätsprinzip (bei seiner Anwendung in mechanischen Untersuchungen) sind die *Symmetrien global* aufgefasst. So wird z. B. vorausgesetzt, dass Translationen beim Übergang zu einem anderen Bezugssystem überall (für den Kosmos zumindest für den Horizontbereich) in gleicher Weise erfolgen. Eine globale Transformation im Rahmen der Elementarteilchentheorie läge vor, wenn für alle Teilchen die Teilcheneigenschaften durch die der Antiteilchen ersetzt würden. Dann, so setzt diese Betrachtungsweise voraus, würden sich die Gesetze des Verhaltens der Teilchen nicht ändern. *Lokale Symmetrie* bedeutet nun Invarianz für Situationen, in denen die Bedingungen der globalen Transformation verletzt sind; also mit Blick auf die erwähnten Fälle, dass die räumlichen Verschiebungen lokal unterschiedlich oder die Vertauschung der Teilcheneigenschaften nicht einheitlich erfolgen. Mit einer lokalen Transformation hätte man es zu tun, wenn man von einem Inertialsystem (etwa einem im Gravitationsfeld fallenden Bezugssystem, z. B. einem Raumschiff im Erdorbit, dessen „Mikrogravitation" vernachlässigt werden kann) zu dem Gravitationsfeld (das der Erde, in dem das Raumschiff „fällt") übergehen würde. Um bei der lokalen Transformation Symmetrie zu garantieren, sind kompensierende Felder einzuführen, die die Wechselwirkungen (im Beispiel das Gravitationsfeld) berücksichtigen. Damit werden auf natürliche Weise die *Konzeptionen der Symmetrie* und *der Wechselwirkungen* miteinander verbunden (334 f.). Sehr erfolgversprechend sehen derzeit die Versuche aus, die Idee der lokalen Symmetrien mit der Konzeption der Eichfelder und der Geometrie vieldimensionaler geschichteter Räume zu verbinden.[95]

Es sei an dieser Stelle hervorgehoben, dass die heutigen Versuche der Physik, den Gemeinsamkeiten der fundamentalen Wechselwirkungen auf die Spur zu kommen, keine ausgeklügelten abstrakten oder gar spekulativen Unternehmungen sind. Vielmehr stellen sie unter Zuhilfenahme neuer mathematischer Methoden die Fortsetzung seit langem bekannter Konzeptionen dar. So geht z. B. Einstein in seinen Bemühungen um eine einheitliche Feldtheorie von der Frage aus, ob nicht verschiedene Wechselwirkungen (Gravitation und Elektromagnetismus) unterschiedliche Aspekte

95 Vgl. V. P. Vizgin, Das Symmetrieprinzip, a. a. O., S. 335 ff.; I. L. Rozental', Geometrija, dinamika, Vselennaja, Moskva 1987, S. 78-87.

einer universellen Wechselwirkung sind. Bei bestimmten Bedingungen sollten diese entkoppelt oder selbständig auftreten. Ihre einheitliche Theorie aufzustellen heißt, die Bedingungen zu finden, bei denen sie nicht entkoppelt sind.

Bereits die Elektrodynamik hat es mit lokalen Symmetrieeigenschaften zu tun. Im Gegensatz zu einer ruhenden elektrischen Ladung erzeugt eine bewegte Ladung ein Magnetfeld. Dieses tritt gewissermaßen als relativistischer Effekt auf.[96] Bei dem dritten Aspekt von Symmetriebrüchen kommen thermodynamische (oder energetische) Aspekte ins Spiel.[97]

Eine Einheitstheorie hat nur noch eine einzige, die vereinheitlichte Wechselwirkung zu beschreiben. Das heißt, dass die vereinigten Wechselwirkungen und ihre Träger, die entsprechenden Teilchen, nicht mehr unterscheidbar sind. Jedes kann sich in jedes andere verwandeln. Energetisch bedeutet das, dass die Kopplungskonstanten, die die verschiedenen Wechselwirkungen charakterisieren, vergleichbare Werte haben müssen. Die Kopplungskonstanten hängen von den während der Wechselwirkung übertragenen Impulsmassen ab. Damit besteht die Aufgabe u. a. darin, die Massen (oder Energien) zu bestimmen, bei denen die Konstanten gleiche Werte erhalten. Die *Tabelle 2* zeigt die Energiewerte für die Vereinigung der entsprechenden Wechselwirkungen.[98]

Vereinigung der Wechselwirkungen	Energiewerte, bei denen Vereinigung erfolgt (GeV)
elektromagnetische – schwache	10^2
elektromagnetische – schwache – starke	10^{15}
elektromagnetische – schwache – starke – gravitative	10^{19}

Tabelle 2: Energiewerte für die Vereinigung der entsprechenden Wechselwirkungen

Gesetzt den Fall, ein physikalisches System hätte eine Temperatur, dass die mittleren Energien der Teilchen über 10^{19} GeV lägen, dann bestände die universelle einheitliche Wechselwirkung. Kühlte das System ab und unterschritte dabei die verschiedenen Schwellwerte der Energie, dann koppelte mit jedem Unterschreiten einer Schwellenenergie eine Wechselwirkung aus. Die Wechselwirkungen „frören aus", bis schließlich alle vier bekannten Wechselwirkungen als selbständige vorlägen. Genau dieser Prozess hat sich nach den heutigen Vorstellungen der *Kosmologie* in der Frühphase der kosmischen Expansion abgespielt. *Symmetriebrechungen* bedeuten hier das *Entstehen* von Differenzierungen, *von Vielfalt*. Dies ist ein Aspekt, den die Prozesse des Ausdifferenzierens von Wechselwirkungen mit anderen Strukturbildungen gemeinsam

96 Vgl. H. Melcher, Relativitätstheorie, Berlin 1974, S. 117 ff.
97 Vgl. I. L. Rozental', Geometrija, dinamika, Vselennaja, a. a. O., S. 60-62.
98 Vgl. ebenda, S. 62; s. a. S. 122.

haben. Eine höher geordnete Struktur hat weniger Symmetrie als eine vergleichsweise niedriger geordnete. Absolute Symmetrie und Chaos sind gleichbedeutend.[99]

Situationen, denen Schwellenwerte der Energie erreicht bzw. unterschritten werden, stellen kritische Situationen im Sinne der *Selbstorganisationstheorien* dar. Für die Art der Symmetriebrechung gibt es nicht nur eine, sondern ein Spektrum von Möglichkeiten – ein Möglichkeitsfeld. Damit spielen Zufall und statistische Gesetzmäßigkeiten eine wesentliche Rolle. In der heutigen Kosmologie hat sich in diesem Zusammenhang eine Situation herausgebildet, die durch die Problematik des sog. Anthropischen Prinzips charakterisiert ist.

In den vorangegangenen Ausführungen deutete sich bereits an, dass die von der modernen Kosmologie untersuchten Probleme fundamental für die gesamte Physik sind. Diese Entwicklungsrichtung nimmt für die Kosmologie ihren Anfang mit den Arbeiten von Einstein, Friedman und De Sitter.

3.5 Relativistische Kosmologie und evolutionäres Weltbild der Wissenschaften

Als Einstein in seiner Arbeit von 1917 die Möglichkeit aufgreift, auf neue Weise das kosmologische Problem, d. h. die Frage „nach der Beschaffenheit des Raumes im großen und über die Art der Verteilung der Materie im großen“[100] anzugehen und auf der Grundlage seiner neuen Gravitationstheorie die kosmologischen Probleme der Newtonschen Physik zu lösen, tritt der die Kosmologie und das gesamte wissenschaftliche Weltbild tiefgreifend verändernde Charakter der relativistischen Kosmologie durchaus noch nicht zutage. Einsteins erstes kosmologisches Modell, sein „Zylinderkosmos“, ist statisch; und aus Gründen der physikalischen Konsistenz endlich.[101] Ähnlich verhält es sich mit dem von De Sitter im selben Jahr auf der Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie entworfenen kosmologischen Modell.[102] Dennoch stellen diese Modelle etwas grundsätzlich Neues dar. In ihnen wird von der *Homogenität* in großem Maßstab und von der *Isotropie* des Kosmos ausgegangen, was zu dieser Zeit durchaus nicht im Einklang mit den astronomischen Beobachtungen steht. Neu ist weiterhin, dass Einstein im Geiste seiner Theorie die Verteilung von Massen und anderen physikalischen Parametern in unlösbarem Zusammenhang mit der Struktur der Raum-Zeit sieht, so dass die alte Fragestellung (Verteilung der Massen im Raum)

99 Vgl. H. Genz/U. Deker, Das Konstruktionsmittel des Kosmos, a. a. O., S. 56-58.
100 A. Einstein, Zum kosmologischen Problem der allgemeinen Relativitätstheorie, in: Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Phys.-Math. Klasse 1931, XII. Wiederabdruck durch die Akademie der Wissenschaften der I)DR, Berlin 1978, S. 3.
101 Vgl. A. Einstein, Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie, in: Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, 1917, VI.
102 Die mögliche Interpretation der de-Sitter-Kosmen als nichtstationär wurde erst später entdeckt.

auf die Frage der Geometrie der Raum-Zeit-Struktur im großen führt. Später soll sich herausstellen, dass Einsteins Modell einen instabilen, d. h. potentiell veränderlichen Kosmos beschreibt (Eddington 1930) und De Sitters Kosmos im Sinne des inflationären expandierenden Kosmos interpretiert werden kann.[103]

A. Friedman ist der erste, der die *Idee eines nichtstationären Kosmos* formuliert. In seinen Arbeiten von 1922 bis 1924 zeigt er, dass expandierende bzw. kontrahierende Kosmen „natürlichere" Lösungen der Einsteinschen Gravitationsgleichungen darstellen. Dies geschieht auf rein mathematischem Wege; der Nachweis eines Realitätsbezugs der Ergebnisse sei Aufgabe der Physiker. Einsteins erste Reaktion auf Friedmans Arbeit (Ablehnung derselben) zeigt deutlich, wie ungewöhnlich die Vorstellung von einem im großen (oder „ganzen") veränderlichen Kosmos ihm und seinen Zeitgenossen sein muss. Hat er doch selbst das „kosmologische Glied" in die Gravitationsgleichungen eingefügt, um den statischen Charakter seines Modells zu sichern. In der Tat stellt die Idee eines nichtstationären Kosmos etwas völlig Unerwartetes und allen bisherigen Auffassungen Widersprechendes dar. Selbst für G. Bruno, der in kühner Weise die Konsequenzen aus des Copernicus' Lehre zieht und von einem unendlichen All und den in ihm entstehenden und vergehenden Welten spricht, ist das Weltall als Ganzes auf ewig unveränderlich. So auch für Kant und alle späteren Vertreter kosmogonischer Lehren. Kosmische Strukturen könnten sich bis zu allen Größenordnungen auf- und abbauen. Aber eine Veränderung des kosmischen Raumes?

Eine derartige Schlußfolgerung ist theoretisch nur auf der Grundlage der Raum-Zeit-Auffassung der allgemeinen Relativitätstheorie möglich. Sie führt schließlich dazu, dass die *Kosmologie* zu *einer evolutionären oder historischen Wissenschaft* wird und sie damit zugleich zu einem entscheidenden Bestandteil des evolutionären Weltbildes der Wissenschaften werden kann. E. Hubbles astronomische Beobachtungen von 1929 erweisen eines der Friedman-Modelle, das des *expandierenden Kosmos*, als das der Realität entsprechende. In den folgenden Etappen der Entwicklung der relativistischen Kosmologie kommen Schritt für Schritt die weiteren fundamentalen physikalischen Disziplinen ins Spiel. Als nächstes fragt G. Gamov danach, wo die *chemischen Elemente* herkommen und entwirft mit seinen Mitarbeitern R. Alpher und R. Herman das Modell des „*big bang*" (1946-1948). Vor allem zwei Konsequenzen dieses Modells (in einer modifizierten Form) werden durch entsprechende Beobachtungen bestätigt. Das betrifft einmal den Anteil von Wasserstoff und Helium an der stofflichen Zusammensetzung der kosmischen Materie. Zum anderen handelt es sich um die aus dem Modell folgende Existenz einer elektromagnetischen „*Reliktstrahlung*" (Schklowski). Als diese 1964/65 von A. Penzias und R. Wilson entdeckt wird, ist das der Auftakt für eine stürmische Entwicklung der Kosmologie. Sie ist nunmehr eine physikalische Disziplin mit wachsender empirischer Grundlage geworden. Hierzu gehören neben der Hubbleschen Rotverschiebung, dem H-He-Anteil an der stofflichen Materie und

103 Vgl. I. L. Rozental', Geometrija, dinamika, Vselennaja, a. a. O., S. 100, 108-111.

der Existenz der Reliktstrahlung die starke Isotrophie der letzteren, die Baryonen-Antibaryonen-Asymmetrie, die ungewöhnliche Flachheit unseres Kosmos u. a. m.[104]

Als historische Wissenschaft muss die Kosmologie nach „Spuren" der Vergangenheit suchen, um die Geschichte des Kosmos aufzuklären. Sie unterscheidet sich in gewissem Sinne aber von anderen historischen Wissenschaften dadurch, dass sie nach diesen Spuren nicht „in der ‚Tiefe' buddeln" muss. Analoges macht sie auch, z. B. hinsichtlich der Reliktstrahlung oder der „verborgenen Massen". In erster Linie jedoch sind diese Zeugen der Vergangenheit die Grundeigenschaften unseres Kosmos selbst.[105]

Liegen dem Modell des heißen Urknalls vor allem die *Atom- und Kernphysik* zugrunde, so erfährt in den 70er Jahren die relativistische Kosmologie eine weitere radikale Vertiefung durch die Hinzuziehung der *Elementarteilchenphysik*. Symptomatisch für die sich ständig vertiefende Partnerschaft von Elementarteilchenphysik und Kosmologie ist z. B. der Sachverhalt, dass Elementarteilchenphysiker wie St. Weinberg, einer der Schöpfer der Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung, Bücher über Kosmologie schreiben. Die 80er Jahre bringen eine weitere Intensivierung dieser Partnerschaft. Modelle der inflationären Expansion, Hypothesen über das Entstehen von Kosmen durch Vakuumfluktuationen, die Suche nach neuen, exotischen Formen der Materie u. v. a. kennzeichnen diesen atemberaubenden Prozess der Kosmologieentwicklung.

Eine philosophische Analyse kann nicht zu allen, in großer Dichte aufeinander folgenden Ideen, Hypothesen und Spekulationen Stellung nehmen.[106] Sie muss sich aber zumindest um das Verständnis dieses Prozesses bemühen, um seine Einordnung in den gegenwärtigen Gesamtprozess der Wissenschaftsentwicklung.

Für manchen ist die *Kosmologie* und insbesondere die heutige eine Ansammlung von phantastischen Spekulationen, die wenig mit dem „normalen" Wissenschaftsbetrieb gemeinsam haben. Ähnlich haben – bis auf wenige Ausnahmen – die Zeitgenossen von Copernicus dessen neue Kosmologie gesehen. Im Gegensatz zu einer derartigen Einschätzung der Kosmologie ist hervorzuheben, dass diese in den letzten Jahrzehnten eine neue, grundsätzlichere Position im Weltbild der Wissenschaften wie auch in der Physik selbst erhalten hat. Hier soll auf drei Aspekte verwiesen werden: *1.* ist die Kosmologie zum *Testfeld für Theorieentwürfe anderer physikalischer Disziplinen* geworden.[107] So waren z. B. Energiewerte, die in irdischen Labors auf absehbare Zeit nicht und vielleicht niemals erreicht werden können, in den früheren Phasen der kosmischen Evolution realisiert. *2.* hat sich die Kosmologie als ein *globaler*, *einzelwissenschaftlicher*

104 Vgl. J. Gürtler/J. Dorschner, Das astronomische Fundament der modernen Kosmologie, Die Sterne, 5/1982.
105 Vgl. I. D. Novikov, Evolution des Universums, Moskau – Leipzig 1986, S. 215.
106 Zur weiteren Charakterisierung der Situation vgl. VI. 1.
107 Vgl. J. B. Zel'dovič, Sovremennaja kosmologija, in: Prošloe i buduščee vselennoj, Mockva 1986, S. 11/12.

Rahmen für das evolutionäre Weltbild der modernen Wissenschaften erwiesen. Die mit der kosmischen Expansion verbundenen Strukturierungsprozesse liefern wesentliche Bedingungen für alle von den andren Wissenschaften untersuchten Evolutionsprozesse.[108] *3.* gibt die Kosmologie einen *Zugang zum Verständnis der grundlegenden physikalischen Gesetze*, die unsere Welt beherrschen. Kosmologie ist heute nicht mehr nur die Anwendung einer bestimmten physikalischen Theorie auf eine konkrete Situation, in einem physikalischen Modell. Vielmehr ist sie nach Meinung vieler Physiker in der Lage zu erklären, warum in unserem Kosmos gerade die uns bekannten Typen von Elementarteilchen und physikalischen Wechselwirkungen bestehen.[109] In diesem Sinne hat sie *für die Physik fundamentalen Charakter*.

Trotz der bereits erzielten bedeutsamen Ergebnisse ist die heutige Kosmologie noch in einer Gärungsphase. Dramatische Veränderungen sind in ihr „nicht ausgeschlossen, und von den heutigen Standard-Lehrmeinungen könnte sich vieles als falsch erweisen."[110]

J. Zel'dovič sieht die Quellen des Erfolgs kosmologischer Erkenntnis erstens in der Erhöhung der Exaktheit und Empfindlichkeit astronomischer Messungen und einem großen Datenmassiv, zweitens in physikalischen Theorien, darunter auch unbestätigten, und drittens in der Kühnheit der Forscher.[111]

Aus der ungewöhnlichen Erkenntnissituation der Kosmologie ist besonders in den letzten Jahren ein *verschärftes Methodenbewusstsein* erwachsen. Lange diskutierte Fragen sind: Was ist der Kosmos als Gegenstand der Kosmologie? Inwiefern ist er erkennbar? Die aktuelle Situation widerspiegelt sich in der Problematik des so genannten Anthropischen Prinzips.

3.6. Die Erkennbarkeit des Kosmos

Von J. L. Lagrange ist die Aussage überliefert, Newtons „Principia" sei das hervorragendste Buch der Wissenschaftsgeschichte, weil das darin beschriebene Weltsystem nur einmal entdeckt werden könne. Die Geschichte der Kosmologie belegt das Problematische dieser These. Was wurde nicht alles im Verlaufe der astronomischen Erkenntnisentwicklung unter „Welt" verstanden. Geozentrische und heliozentrische Welt, Fixsternkosmos, hierarchisches Weltgebäude auf der Grundlage der Newtonschen Physik, statische Kosmen im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie und schließlich dynamische Kosmen mit ihrer sich ständig erweiternden Vielfalt.

108 Vgl. z. B.: B. A. Unsöld, Evolution kosmischer, biologischer und geistiger Strukturen, Stuttgart 1983[2].
109 Vgl. z. B: I. L. Rozental', Elementarnye časticy i struktura Vselennoj, Moskva 1984; B. Davies, The Accidental Universe, Cambridge 1982.
110 L. Krauss, Dark Matter in the Universe, Scientific American, 6/1986, S. 59/60.
111 Vgl. J. B. Zel'dovič, Sovremennaja kosmologija, a. a. O., S. 11/12.

In der Entwicklung des astronomischen Weltbildes wird sehr anschaulich die Lehre von der Erkennbarkeit der Welt und vor allem der Aspekt dieser Lehre, dass der menschliche Erkenntnisprozess nie abgeschlossen wird, belegt. Hierzu gehört auch, dass es zu jeder Zeit bestimmte, wenn auch historische Grenzen der Erkenntnis gibt. Diese sind wesentlich durch den jeweiligen Entwicklungsstand der Erkenntnismittel determiniert. Gerade die Astronomiegeschichte zeigt eindrucksvoll, wie neue Erkenntnismittel – ob Beobachtungsinstrumente, mathematische Verfahren, physikalische Theorien oder Hypothesen – schlagartig zu neuen Einsichten in die Struktur des Kosmos führen.[112]

Für die Philosophie hat sich aus dem Entstehen der evolutionären Kosmologie eine Präzisierung ihrer Lehre von den historischen Erkenntnisgrenzen ergeben. Horizonte im Expansionskosmos besagen, dass es für jede Zeit eine prinzipielle Grenze für die Beobachtung gibt. Ist z. B. seit dem Beginn der Expansion die Zeit von 18 Milliarden Jahren vergangen, dann können wir auch mit den besten Instrumenten nicht weiter als 18 Milliarden Lichtjahre sehen. Freilich ist ein derartiger Horizont nichts Feststehendes. Sein Radius erweitert sich – nach dem von Novikov wiedergegebenen Ergebnis einer Modellrechnung – im Verlaufe von 100 Jahren um den hundertmillionsten Teil seiner Größe.[113] Somit kommen wir zu einer Präzisierung der Aussage von den *relativen Grenzen der Erkenntnis*: Sie sind *nicht nur durch die Geschichtlichkeit unserer Erkenntnismittel* bestimmt, sondern hängen auch mit der *Geschichte des Kosmos* zusammen.

Eine wichtige Stelle, an der Kosmologie und Philosophie sich begegnen, wo es um die Klärung methodischer und erkenntnistheoretischer Voraussetzungen kosmologischer Forschung geht, ist die Frage des Gegenstandes der Kosmologie. Dieser ist natürlich der Kosmos. Aber was ist der *Kosmos?*

Einstein präzisiert die Gegenstandsbestimmung, indem er vom Kosmos „im großen" spricht. Oft finden wir die Formulierung, die Kosmologie habe die Struktur und Veränderung des „Kosmos als Ganzes" zu erforschen. Mit Einsteins vorsichtiger Formulierung kommt man nicht in Schwierigkeiten. Der Anspruch, die physikalische Beschaffenheit der *Welt als Ganzes* zu beschreiben, birgt aber eine Aporie[114] oder zumindest eine nicht bewiesene Voraussetzung. Man muss nämlich dann davon ausgehen, dass der Teil, den wir empirisch erforschen, repräsentativ für das Ganze ist. Nun zeigt die Geschichte der Astronomie aber, dass das, was man zu einer bestimmten Zeit jeweils überblickte und für *das* Weltsystem hielt oder zumindest als repräsentativ für das Weltganze ansah, sich immer wieder nur als ein Teil erwiesen hat, der keineswegs für das Ganze stand.

112 Vgl. M. Harwit, Die Entdeckung des Kosmos. Geschichte und Zukunft astronomischer Forschung, München – Zürich 1983.
113 Vgl. I. D. Novikov, Evolution des Universums, a. a. O., S. 108.
114 Vgl. H.-J. Treder, Relativität und Kosmos, Berlin – Oxford – Braunschweig 1968, S. 88 ff.

Um diesem Dilemma zu entgehen, greifen in der internationalen Literatur mehr und mehr Fachleute zu vorsichtigeren Formulierungen. Man spricht anstelle von „Weltall“ oder „Kosmos“ von der „Metagalaxis“ als dem Gegenstand kosmologischer Überlegungen oder auch von einer möglichen Vielzahl von Welten oder Kosmen. Die Frage des Sprachgebrauchs ist im Fluss und natürlich nicht reglementierbar. Vom inhaltlichen Aspekt her sind *vier Typen* von großräumigen Bereichen, mit denen man in kosmologischen Untersuchungen konfrontiert ist, zu unterscheiden:

1. der Bereich, der mit den *gegenwärtigen Beobachtungsmitteln* überblickt werden kann. Hierfür gibt es sehr unterschiedliche Bezeichnungen, z. B. „astronomisches Weltall“, „Metagalaxis“ usw.

2. *Horizontbereiche*[115]. Die endliche Existenzdauer der von uns untersuchten großräumigen kosmischen Strukturen bedingt – zusammen mit einer endlichen Grenze für die Ausbreitung physikalischer Wirkungen – das Vorhandensein von Horizonten. Dadurch, dass die kosmische Materie sich zu Beginn in einem superdichten Zustand befindet, ist sie für Signale beliebiger Natur undurchlässig. Mit der Verdünnung im Laufe der Expansion wird sie Schritt für Schritt durchlässig, z. B. für Neutrinos bei etwa 1 s, für die elektromagnetische Strahlung (Photonen) nach etwa 10^5 Jahren. Durch die Zeit, die seit dem Durchlässigwerden für bestimmte Teilchentypen, ihrer „Entkopplung“, verstrichen ist, sind die entsprechenden Horizonte bestimmt. Damit gibt es einen Horizontbereich für die Neutrinobeobachtung, einen für die optische Beobachtung usw. Der prinzipielle Horizont ist durch die Dauer seit dem Beginn der Expansion bestimmt. Er markiert die Grenze zu demjenigen Gebiet, aus dem keinerlei physikalische Signale den Beobachter erreichen können. Bemerkenswert ist, dass heute der prinzipielle Horizontbereich und das Gebiet, das von astronomischen Beobachtungen überstrichen wird, in der Größenordnung bereits zusammenfallen.

3. derjenige Bereich, für den die von der Kosmologie festgestellten großräumigen Eigenschaften – wie Expansion oder Struktur der Verteilung der Galaxienhaufen – existieren. Er wird oft mit „Kosmos“, zunehmend aber auch mit „*Metagalaxis*“ bezeichnet. Er ist der eigentliche Gegenstand kosmologischer Modelle und muss durchaus nicht durch die Extrapolation beobachteter Eigenschaften des Gebietes 1 erfasst werden. Nach aktuellen kosmologischen Hypothesen ist „unser Kosmos“ ein kleiner, im großen homogener und ebener Ausschnitt eines umfassenderen Gebiets mit ganz anderen Eigenschaften z. B. mit stark gekrümmtem Raum (also nicht flach).[116]

4. das *Weltall, Weltganze* oder *Universum*. Während die Unterscheidung der Bereiche 1 und 2 problemlos ist, d. h. keine begrifflichen oder methodischen Schwierigkeiten bereitet, höchstens solche der sprachlichen Verständigung, betrifft der Unterschied zwischen 3 und 4 ein inhaltliches Problem – das des Gegenstandes der Kosmologie.

115 Der Autor dieses Abschnitts hat in früheren Veröffentlichungen nur die Bereiche 1, 3 und 4 diskutiert. Die Aufnahme von 2 erfolgt auf Hinweis von U. Bleyer.
116 Vgl. I. L. Rozental’, Geometrija, dinamika, Vselennaja, a. a. O., S. 123.

Grundsätzlich kann man heute nicht beweisen, ob derjenige im Recht ist, für den beide auseinanderfallen, oder der, für den unsere Kosmosmodelle das Weltganze beschreiben. Der letztere Standpunkt muss aber mit der eingangs erwähnten Aporie bzw. unbewiesenen Voraussetzung leben. Dies lässt viele Forscher vorsichtiger sein und die Gebiete 3 und 4 unterscheiden. Hinzu kommt, dass die gegenwärtige Situation der kosmologischen Forschung uns wieder einmal – wie schon so oft in der Geschichte – mit dem Problem der Vielheit der Welten konfrontiert. Dies hängt wesentlich mit der Problematik des Anthropischen Prinzips zusammen.

3.7 Das Anthropische Prinzip

Descartes berühmten Ausspruch abwandelnd, formuliert B. Carter das Anthropische Prinzip mit den Worten: Cogito, ergo mundus talis est (Ich denke, folglich ist die Welt wie sie ist). Hat dies Prinzip einen tieferen Sinn, oder riskiert man, wenn man es zur Grundlage kosmologischer Überlegungen macht, sehr schnell zum Herumfuchteln mit den Händen überzugehen (wie Zel'dovič befürchtet)?[117]

Die Formulierung des Anthropischen Prinzips ist aus einer zugespitzten Erkenntnissituation der kosmologischen Forschung heraus entstanden. Im Vergleich zu der Zeit vor einigen Jahrzehnten weiß die heutige Kosmologie unvergleichlich mehr über die kosmischen Strukturen und ihre Entstehung. Sie kann sie mittels der etablierten, zum Teil aber auch nur mittels augenblicklich noch hypothetischer Theorien erklären. Zugleich müssten jedoch nach gegenwärtigem Verständnis die vorfindbaren Strukturen von sehr geringer Wahrscheinlichkeit sein. Eine in der Diskussion als Argument gegen das Modell des heißen Urknalls genannte Zahl besagt, dass diesem gemäß die Entstehung von Leben im Kosmos nur die Wahrscheinlichkeit 10^{-40000} habe.[118] Eine dieser Unwahrscheinlichkeiten ist die erstaunliche Flachheit unseres Kosmos, d. h. der Sachverhalt, dass die reale mittlere Massendichte recht genau dem kritischen Wert ρ_k entspricht. Bei geringeren Dichten wäre die Expansion zu heftig, als dass sich die bekannten kosmischen Objekte wie Galaxien, Sterne und Planeten bilden könnten. Wäre sie größer, wäre ihrerseits die Dauer der Expansionsphase des Kosmos zu gering, so dass die Zeit für die Herausbildung von Leben nicht ausreichte.

Naturgesetze sind durch *Konstanten* charakterisiert, die die Stärke der Wechselwirkungen bestimmen. Wäre z. B. die Wechselwirkungskonstante der Gravitation nicht so klein, dann wären die Lebenszeiten der Sterne zu kurz, um die für das Leben nötigen chemischen Elemente zu synthetisieren. Die Oberflächentemperaturen der Sterne liegen über der Rekombinationstemperatur. Wäre das nicht so, würden Atomkerne und Elektronen zu neutralen Atomen rekombinieren, die Strahlung der Sterne würde stark abfallen, und die Sterne könnten kein Leben auf den sie umgebenden Planeten

117 Vgl. J. B. Zel'dovič, Sovremennaja kosmologija, a. a. O., S. 33.
118 Vgl. ebenda.

erhalten. Ähnlich wäre die Situation, würde die Elektronenmasse sich auf das 2,5fache erhöhen: Es gäbe keine stabilen Atomkerne.[119]

Es gibt eine Vielzahl weiterer Beispiele, die zeigen, dass eine *Feinabstimmung zwischen den verschiedenen Naturkonstanten* besteht, ohne die unser Kosmos völlig anders aussehen würde. Insbesondere würde kein Leben und kein „Beobachter", der den Kosmos studiert, existieren.[120] Auf der Basis gegenwärtiger physikalischer Vorstellungen ist ein ganzes Spektrum von Kombinationen derartiger Größen und damit auch von Kosmen denkbar. Daher erscheint die unsere Existenz bestimmende Kombination wie zufällig, unser Kosmos als „Zufallskosmos".[121]

Mit dem Anthropischen Prinzip wird nun der Versuch gemacht, die schwierige Problemsituation zu bewältigen. Die Formulierung des *starken* Anthropischen Prinzips hat die Form einer erklärenden Aussage: „Unser Kosmos hat die beobachteten Eigenschaften, weil Beobachter existieren." In der hier angenommenen Beziehung der grundlegenden Eigenschaften unseres Kosmos zu der Existenz eines ihn studierenden Beobachters ist die breite Reaktion auf das Prinzip begründet. Es wird behauptet, das Anthropische Prinzip sei die Reaktion auf die blinde Befolgung des „copernicanischen Prinzips", dem zufolge die Objektivität physikalischer Erkenntnis durch den Ausschluss jeglicher Bezüge auf den Menschen garantiert werde.[122] Auf jeden Fall bezieht sich dies auf die weltanschauliche Reaktion gegenüber dem Prinzip. In der bürgerlichen Literatur ist vom „Copernicus-Schock" die Rede, von dem traumatischen Gefühl der Verlorenheit und Nichtigkeit des Menschen in den unendlichen Weiten des Weltalls. Daher ist für viele eine Sicht, die Existenz und Beschaffenheit unseres Kosmos untrennbar mit dem Menschen verbindet, eine Befreiung von diesem Trauma. Die Wiederbelebung anthropozentrischer Weltbildvorstellungen von Mythos und Geozentrismus soll das in der copernicanischen Wende verloren gegangene Gefühl der kosmischen Geborgenheit wiedergewinnen lassen.

Es gibt vielfältige Versuche, die Problematik des Anthropischen Prinzips mit der Frage nach der Stellung des Menschen im Kosmos innerhalb spezieller „kosmischer Philosophien" zu verbinden.[123] Derartige philosophische Lehren betrachten die Frage der *Stellung des Menschen im Kosmos* als ihr Zentralproblem. Sie sind sehr unterschied-

119 Vgl. I. L. Rozental', Geometrija, dinamika, Vselennaja, a. a. O., S. 116 ff.
120 Vgl. G. Gale, The Anthropic Principle. Scientific American, 6/1981; P. C. W. Davies, The Accidental Universe, a. a. O.; I. L. Rozental', Elementarnye časticy i struktura Vselennoj, a. a. O., S. 97 ff.; ders., Geometrija, dynamika, Vselennaja, a. a. O., S 112 ff.; J. V. Balašov/V. V. Kazjutinskij, Antropnyj princip v kosmologii, Estestvennonaučnye i mirovozzrenčeskie aspekty, in: Logika, metodologija i filosofija, vypusk 2, Moskau 1987, S. 89-123.
121 Vgl. P. Davies, The Accidental Universe, a. a. O.
122 Vgl. F. I. Girenok, Ekologija, civilizacija, noosfera, Moskva 1987, S. 154; J. Balašov/V. Kazjutinskij, Antropnyj princip v kosmologii ..., a. a. O., S. 97.
123 Vgl. F. Girenok, Ekologija, civilizacija, noosfera, a. a. O., S. 91-93, 100 ff.; J. Balašov/V. Kazjutinskij, Antropnyj princip v kosmologii ..., a. a. O., S. 18 f.

licher Natur: Teilhardismus, „russischer Kosmismus“, spiritistische Philosophie der Mystik von C. du Prel usw. Die philosophische Analyse hat sorgfältig diese weltanschaulichen Adaptionen des Anthropischen Prinzips von der eigentlichen Situation und dem Zweck zu unterscheiden, zu dem es formuliert wurde. Geht es doch bei der Problematik der kosmologischen Forschung im Grunde genommen gar nicht um das Leben oder den Menschen, sondern um die langzeitige Stabilität von Objekten des Kosmos wie den Atomen, Sternen und Planeten, Galaxien usw., welche natürlich notwendig für Leben *und* Zivilisationen sind.

B. Carter selbst bedauert heute, dass er bei seiner terminologischen Wahl nicht genügend sorgfältig vorgegangen ist. Dies hätte das Prinzip vor vielzähligen metaphysischen Überlagerungen bewahrt.[124] Dennoch bleibt unbestritten, dass die Frage nach dem Verhältnis von Mensch und Kosmos ein philosophisch weiter zu bearbeitendes Problem ist.[125]

In seiner *starken Fassung* lässt das Anthropische Prinzip im wesentlichen drei Deutungen zu[126]:

1. die „retrokausale“ Deutung, in der Ursache und Wirkung vertauscht werden. Kanitscheider zitiert hierzu (aus einer unveröffentlichten Arbeit) den Vergleich: keiner käme auf die Idee, auf die Frage eines Kindes, warum Vater und Mutter geheiratet hätten, zu antworten: weil das Kind die Frage stellt;

2. die teleologische Deutung, die natürlich mit der ersten gewisse Gemeinsamkeiten hat;

3. schließlich die extrem idealistische Interpretation, nach der ein „Beobachter“ oder sein Bewusstsein den Kosmos hervorbringt.

Somit erweist sich die starke Formulierung des Prinzips als unvereinbar mit einem wissenschaftlichen Herangehen an die kosmologische Problematik. Gemäß *der schwachen Deutung* gilt, dass die Existenz eines Beobachters (von Leben oder allgemeiner von stabilen Atomen, Sternen usw.) für die Natur der physikalischen Gesetze und ihr Wirken im Kosmos gewisse, im Rahmen heutiger Theorien als sehr einschneidend empfundene Beschränkungen auferlegt. Diese Formulierung steht mit einer wissenschaftlichen Betrachtungsweise im Einklang. Kann man ihr aber eine Erklärungsleistung zuschreiben? Dies ist nicht der Fall.[127] Sie hat jedoch wesentlich dazu beigetragen, der Frage „Warum ist die Welt so beschaffen, wie sie ist, und nicht anders?“ zu ihrem Recht zu verhelfen.[128]

124 Vgl. J. Balalov/V. Kazjutinskij, Antropnyj princip v kosmologii..., a. a. O., S. 98.
125 Vgl. F. Gelhaar, Wie der Mensch seinen Kosmos schuf. Eine kleine Kulturgeschichte der Astronomie, Berlin 1996;
126 Vgl. B. Kanitscheider, Physikalische Kosmologie und Anthropisches Prinzip, Naturwissenschaft 12/1985, S. 613-618.
127 Vgl. ebenda, S. 618.
128 Vgl. I. Rozental', Elementatnye časticy i struktura Vselennoj, a. a. O., S. 99.

Wenn das Anthropische Prinzip also auch nichts erklären kann, so verdeutlicht es doch eine Problemsituation. Insofern sollte besser von der „anthropischen *Fragestellung*“ die Rede sein und nicht von einem „Prinzip“.

Verdeutlicht wird durch diese Frage die zugespitzte Erkenntnissituation in der Kosmologie, dass sich zwar mittels physikalischer Theorien der Prozess der Herausbildung bestehender kosmischer Strukturen und ihre Stabilität erklären lässt, dass dieser Prozess jedoch ausgesprochen unwahrscheinlich erscheint. Für die philosophische Entwicklungstheorie steht die Aufgabe, bei der Erklärung von Prozessen sowohl der Gefahr der Annahme eines Automatismus („absolute Notwendigkeit“) als auch der des „reinen Zufalls“ zu entgehen.[129] Diese Einsicht hat sie in die Analyse naturwissenschaftlicher Evolutionsproblematik einzubringen. Dabei kann es nicht darum gehen, auf irgendeine uns „sympathische“ Mischung von Zufall und Notwendigkeit aus zu sein. Vielmehr ist der *objektiven Dialektik* beider auf die Spur zu kommen. Welche Ansätze sind hierzu sichtbar?

Im Rahmen physikalischer methodischer Überlegungen wird das *Vielwelten-Modell* diskutiert. Es ist 1957 von Hugh Everett eingeführt worden, um die Situation in der Quantenmechanik einsichtiger zu machen. Man geht davon aus, dass alle, den möglichen Kombinationen von Naturkonstanten entsprechenden Kosmen oder „Welten“ existieren. Im Rahmen dieses gesamten Spektrums von Welten gibt es auch die unsrige, relativ unwahrscheinliche. Bei einer derartigen Sicht verliert die Existenz des Kosmos, der den Menschen hervorgebracht hat, ihren außergewöhnlichen Charakter. Aktuelle Überlegungen zum Entstehen von Kosmen durch Vakuumfluktuationen harmonieren mit dieser Deutung. (Siehe dazu VI.1.4.)

Ein anderes Herangehen äußert sich in der Annahme, dass der Anschein großer Unwahrscheinlichkeit unseres Kosmos sich aus der *Mangelhaftigkeit heutiger Theorien* ergebe. „Stärkere“ Theorien könnten die Sicht auf diese Situation völlig verändern. Sie könnten zeigen, wie Anfangsbedingungen mit relativer Streubreite, d. h. geringer Fixiertheit, dennoch mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem Kosmos führen, wie wir ihn beobachten.[130] Die Entwicklung der Kosmologie in den letzten Jahren hat zu einer Reihe beachtlicher Ansätze in dieser Richtung geführt, vor allem mit dem Modell vom inflationären Kosmos. In diesem Zusammenhang ist der Vergleich mit der Biologie instruktiv. War vor Jahrzehnten die Entstehung des Lebens auf der Erde für die biologische Evolutionstheorie zwar im Prinzip erklärbar, aber doch sehr unwahrscheinlich, so neigt man heute eher dazu zu sagen, dass man es als ein Wunder anzusehen hätte, wäre das Leben nicht entstanden. Es liegen also zwei Lösungsversuche vor, von denen der eine sagt: mehr Zufall, aber im Rahmen eines Wahrscheinlichkeitsgesetzes; während der andere stärker den Aspekt der Notwendigkeit akzentuiert.

Durch die anthropische Fragestellung wurden weitere Forschungen angeregt. So analysieren führende sowjetische Kosmologen, wie sich aus dem Spektrum aller

129 Vgl. H. Hörz/K.F. Wessel, Philosophische Entwicklungstheorie, Berlin 1983, S. 121.
130 Vgl. B. Kanitscheider, Physikalische Kosmologie und Anthropisches Prinzip, a. a. O., S. 617 f.

möglichen Kosmen derjenige Bereich ermitteln lässt, der Welten enthält, die Leben hervorzubringen in der Lage sind.[131] Im Sinne der heuristischen Anregung ist der Wert des Anthropischen „Prinzips“ gewiss noch nicht ausgeschöpft.

4. Quantentheorie und Elementarteilchen

Die in der klassischen Physik metaphysisch einander gegenüber stehenden Objektvorstellungen (Teilchen und Felder, Korpuskel und Welle) sind von der Physik zunächst erst einmal probeweise auch für die Mikrowelt unterstellt worden. Nachdem sich die Experimental- und die theoretische Physik zu Beginn des 20. Jahrhunderts massiv über die empiristischen Einwände hinweggesetzt hatte, die damals nicht beobachtbaren Atome und Moleküle aus theoretischen Überlegungen zu verbannen, war nicht einzusehen, warum die sich bei Widerspiegelung von Eigenschaften auf der Ebene makrophysikalischer Erscheinungen glänzend bewährenden Objektvorstellungen auf der Ebene der schwerer zugänglichen mikrophysikalischen Erscheinungen modifiziert werden sollten. Die Mehrzahl der damals forschenden Physiker ging davon aus, dass Licht unter allen Umständen als Welle zu behandeln ist, Elektronen und Atomkerne (Rutherfordsche Streuexperimente 1911) aber natürlich Teilchen darstellen. Einsteins Lichtquantenhypothese (1905/06) fiel völlig aus dem Rahmen und wurde nahezu vollständig ignoriert oder aber als verzeihbarer Irrtum eines ansonsten großartigen Physikers „entschuldigt“ (Planck).

Planck selbst empfand die von ihm zur Erklärung der Gesetzmäßigkeiten der Wärmestrahlung eingeführte Quantenhypothese (1900) als Fremdkörper in der Physik und unternahm vieles, um diese Hypothese wieder aus der Theorie zu verbannen. Dass sie schließlich sogar dazu führen sollte, die *Mechanik* und die *Elektrodynamik* zu ändern, hätten selbst die kühnsten Theoretiker dieser Zeit nicht vorherzusagen vermocht.

4.1 Dialektik der nichtrelativistischen Quantenmechanik

Aus der Retrospektive lässt sich heute der mit dem Bohrschen Atommodell von 1913 einsetzende Theorienentwicklungsprozess schematisch vereinfacht wiedergeben (vgl. *Abb. 2*, nächste Seite).

Die nichtrelativistische Quantenmechanik (QM) ist danach als Lösung der Problemantinomie zu verstehen, dass innerhalb des Atoms einerseits die klassische Mechanik (KM) weiterhin gelten solle und andererseits durch mit ihr unverträgliche Postulate außer Kraft gesetzt wird (KM). Die für die Mikrophysik relevante Mechanik entstand historisch also nicht dadurch, dass die für die Makrophysik gültige Theorie einfach aufgegeben wurde. Mit dem Bohrschen Atommodell wurde vielmehr ein dialektischer

131 Vgl. I. D. Novikov/A. G. Polnarev/I. L. Rozental’, Čislennye značenija fundamental’nych postojannych i antropnyj princip, in: Problema poiska žizni vo vselennoj, Moskva 1986, S. 36-40.

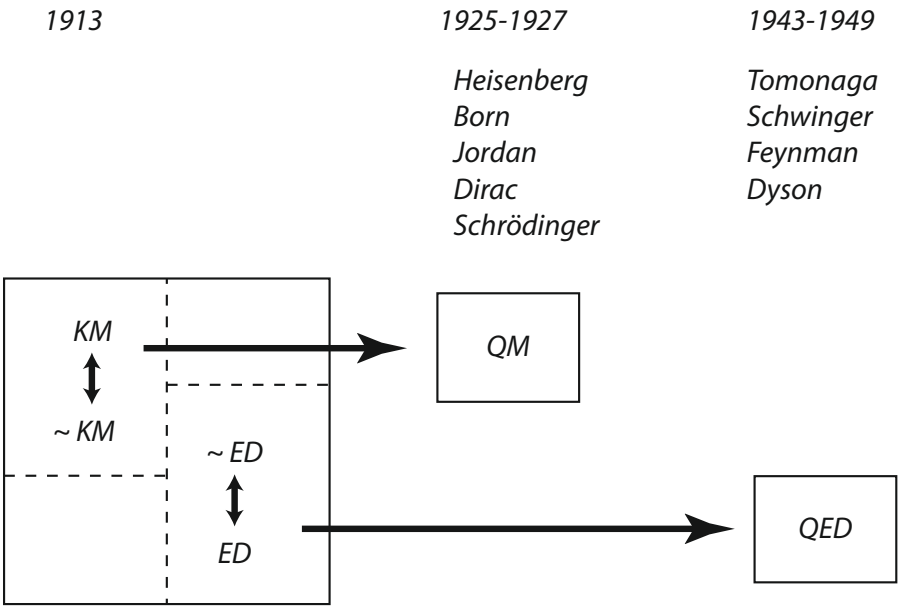

Abb. 2: Entstehung der QM und der QED

Widerspruch konstituiert, der einen komplizierten Theorieentwicklungsprozess in Gang gesetzt und vorangetrieben hat, an dessen Endpunkt dann die neue Mechanik stand.[132] Dass sich auch die Entstehung der Quantenelektrodynamik (QED) als Lösung der entsprechenden Problemantinomie (Elektrodynamik gilt einerseits weiterhin und ist andererseits durch mit ihr unverträgliche Postulate außer Kraft gesetzt) darstellen lässt, zeigt die heuristische Fruchtbarkeit des Bohrschen Atommodells. Den *Problemantinomien der Mechanik und der Elektrodynamik* dieses Modells aber lag eine Problemantinomie zugrunde, die seit den antiken naturphilosophischen Diskussionen das Denken von Philosophen und Physikern immer wieder beschäftigt hat, nämlich die *Problemantinomie von Kontinuität und Diskontinuität*.

Mit der *nichtrelativistischen Quantenmechanik* und dem ihm entsprechenden *Objektverständnis* ist ein im Hinblick auf die Vertiefung unseres Verständnisses der objektiven Dialektik der Natur sehr bedeutsamer Erkenntnisfortschritt erzielt worden. Zugleich aber stellt die Lösung der Problemantinomie Kontinuität und Diskontinuität auf der Ebene dieser Theorie keinesfalls das letzte Wort zur Problematik dar. Bevor wir das Neusetzen der benannten Problemantinomie auf der nächsten Ebene der phy-

132 Siehe dazu und zum folgenden: U. Röseberg, Szenarium einer Revolution. Nichtrelativistische Quantenmechanik und philosophische Widerspruchsproblematik, Berlin 1984 (dort weitere Literaturangaben).

sikalischen Theorieentwicklung betrachten, wollen wir hier nochmals schematisiert zusammenfassen, wie die Dialektik des Erkenntnisprozesses schließlich im Resultat dieses Prozesses aufgehoben wurde (vgl. *Abb. 3*).

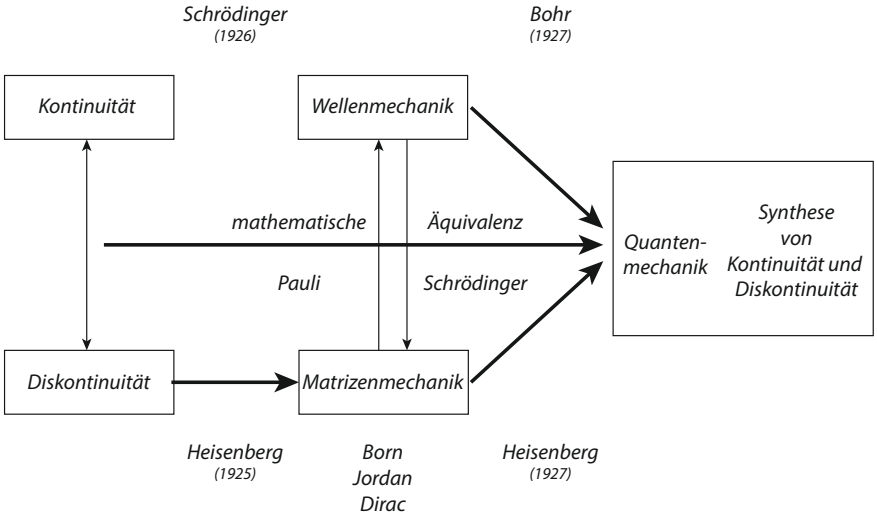

Abb. 3: Quantenmechanik als Synthese von Kontinuitäts- und Diskontinuitätsvorstellungen

Heisenberg war in seiner Matrizenmechanik vom *diskontinuierlichen* Aspekt der Quantenphänomene ausgegangen, während Schrödinger, die Hypothese de Broglies von der Wellennatur jedes massebehafteten Teilchens aufgreifend, in seiner Wellenmechanik den *kontinuierlichen* Aspekt der Quantenphänomene betont hatte. Nachdem die *mathematische Äquivalenz* beider zunächst so verschieden aussehenden Theorienansätze nachgewiesen war und de Broglies Hypothese für Elektronen auch experimentell bestätigt werden konnte, gab es bei der Interpretation der nichtrelativistischen Quantenmechanik schwerwiegende Gründe, den *Welle-Teilchen-Dualismus*, also die *Einheit von Kontinuität und Diskontinuität,* als einen grundlegenden Zug physikalischer Naturbeschreibung zu akzeptieren. Dies war ein bedeutender Schritt, innerhalb der Physikentwicklung Dialektik zu akzeptieren.

Die in der nichtrelativistischen Quantenmechanik vorliegende Synthese von Kontinuitäts- und Diskontinuitätsauffassungen darf jedoch *nicht* mit einer *ontologischen* Festlegung verwechselt werden. Die neue Theorie zwingt zu der im *Bohrschen Komplementaritätsargument* klar ausgesprochenen dialektischen Synthese von *Ontologie* und *Gnoseologie*.

Bohr hat in Auseinandersetzung mit der ersten Darstellung der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen für Ort und Impuls sowie Energie und Zeit betont, dass in der Quantenmechanik die materiell-gegenständlichen *Beobachtungsbedingungen* den

Gebrauch eines bestimmten Begriffs nahelegen und zugleich für den *komplementären* Begriff die *Definitionsmöglichkeiten* in exakt angebbarer Weise einschränken. Wird der Ort eines Teilchens *beobachtet,* dann hat es keinen physikalischen Sinn mehr vom Impuls dieses Teilchens zu *sprechen.* In dem Maße, wie der *Wellenaspekt* eines Objektes hervortritt, verliert der *Teilchenaspekt* dieses Objekts seinen Sinn.

Das Bohrsche Komplementaritätsargument verweist erstmalig innerhalb einer physikalischen Theorie auf den *Zusammenhang der materiell-gegenständlichen Einwirkung des erkennenden Subjekts auf das zu erkennende Objekt* im Experiment und in der Beobachtung (realisiert durch entsprechende Geräte bzw. experimentelle Anordnungen) *und der ideell-theoretischen Eingriffe bei der Konstituierung von Objekten der Theorie.* All denen, die Komplementarität vom Standpunkt undialektischer Realismusvarianten kritisierten, hat Bohr während seines ersten Aufenthaltes in der Sowjetunion 1934 in einem Vortrag in Leningrad erklärt: „Es ist traurig, daß man sich in der Physik mit solchen Dingen quälen muß und nicht einfach die wunderbaren Gesetze der Natur verfolgen kann."[133] Die von Einstein und Planck gehegte Hoffnung, dass objektive Gesetze um so klarer hervortreten, je konsequenter man die Subjekt-Objekt-Beziehungen trenne, schien Bohr unvereinbar mit den erkenntnistheoretisch-methodologischen Konsequenzen der *nichtrelativistischen Quantenmechanik.*

Da für die Objekte der *klassischen Physik* die Einwirkung des Messgerätes auf die Eigenschaften des zu messenden Objektes praktisch vernachlässigbar waren, konnten die klassischen Theorien *in erster Näherung* durchaus noch als eine vom Subjekt völlig unabhängige *Objekttheorie* angesehen werden. Das ist aber angesichts der Problematik des Messprozesses in der *Mikrophysik* und der komplizierten Interpretation der Größen des Formalismus *nicht mehr voraussetzungslos möglich.* Es muss erst geprüft werden, inwiefern die Begriffe und Strukturen der Theorie über Entsprechungen in den Eigenschaften und Beziehungen der real existierenden Objekte und Prozesse verfügen.

In der physikalischen Theorie verschärft sich der in der dialektisch-materialistischen Erkenntnistheorie bekannte Zwang, die *Resultate* des Erkenntnisprozesses nicht in der Isolation von diesem *Prozess*, das Objektive nicht in der metaphysischen Trennung vom Subjektiven zu fassen, sondern die für jede erkenntnistheoretische Erörterung unverzichtbare *Subjekt-Objekt-Dialektik in ihrer konkreten dialektischen Widersprüchlichkeit* zu analysieren. Mit dem Komplementaritätsargument wurde mindestens auf der Ebene der die Beobachtung und das Experiment widerspiegelnden theoretischen Begriffe nun auch für die *Physik* klar, was die *Philosophie* bereits deutlich herausgearbeitet hatte: Das Subjekt vermag nur zu erkennen, indem es sich mit dem Objekt auseinandersetzt (materiell-gegenständlich und ideell-theoretisch). Die *Subjekt-Objekt-Dialektik* aber hebt die Frage nach der Quelle der Erkenntnis nicht auf und ist deshalb *nicht identisch mit der Beziehung von Materie und Bewusstsein.* Bei

133 Stenographische Mitschrift des Vortrages von N. Bohr vom 7.5.1934 vor der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, in: MSS 13, 5 (Niels Bohr Archiv Kopenhagen), S. 14.

aller Kompliziertheit realer Subjekt-Objekt-Beziehungen bleibt die *objektive Realität* außerhalb und unabhängig von unserem Bewusstsein die *Quelle unserer Erkenntnis*, ist das *Primat der Materie gegenüber dem Bewusstsein erkenntnistheoretisch absolut.*

Die Relativitätstheorie und die Quantenmechanik haben die bis dahin in der Physik vernachlässigten *erkenntnistheoretischen Probleme* mit aller Schärfe auf die Tagesordnung gesetzt. Der Physiker kann im Labor Versuchsbedingungen physikalisch festlegen und damit Entscheidungen über die Verhaltensmöglichkeiten von Objekten treffen. – Registriert er beispielsweise Schwärzungspunkte einzelner Elektronen auf Photoplatten, kann er nicht gleichzeitig die Welleneigenschaften dieser Objekte untersuchen. Das Erkenntnissubjekt eliminiert also in diesem Falle durch Festlegung makrophysikalischer Bedingungen bestimmte Klassen von Verhaltensmöglichkeiten der Objekte, die ohne diese Versuchsbedingungen weiterhin bestanden hätten. Dabei kommt es nicht so sehr darauf an, dass *der Physiker* Entscheidungen trifft. Es kommt vielmehr darauf an, welche *materiellen* makrophysikalischen *Bedingungen* für das potentielle Verhalten eines *materiellen Mikroobjektes* gesetzt sind. Nicht das Bewusstsein des erkennenden Subjektes ist maßgebend, sondern die vom handelnden Subjekt geschaffenen bzw. kontrollierten materiellen Versuchsbedingungen. Im Labor werden diese durch Entscheidungen des Physikers geschaffen bzw. kontrolliert. Außerhalb des Labors dagegen existieren sie unabhängig von den Entscheidungen des Physikers und sind von diesem zur Kenntnis zu nehmen.

Die Quantenmechanik gestattet die Berechnung der Versuchsausgänge bei Elektronen am einfachen und am Doppelspalt in Laborversuchen ebenso wie die Erklärung von Mikroprozessen und ihrer makrophysikalischen Folgen bei kosmischen Objekten. V. A. Fok hat deshalb vorgeschlagen, das Neue der Quantenmechanik nicht über die veränderten Subjekt-Objekt-Beziehungen zu charakterisieren, sondern die *Relativität von Eigenschaften der Mikroobjekte gegenüber den Beobachtungsmitteln* hervorzuheben.[134] Damit werden zweifelsohne subjektivistische Konsequenzen vermieden. Diese Position löst aber noch nicht die Frage nach der Stellung der Reduktion der Wellenfunktion im Rahmen einer ausstehenden quantenmechanischen Theorie des Messprozesses.

Die bis heute fortbestehende Aktualität der Subjekt-Objekt-Dialektik für die philosophischen Reflexionen zur Quantenmechanik hängt also mit der Tatsache zusammen, dass diese Theorie in Kenntnis der realen Versuchsbedingungen das jeweilige Feld von objektiven *Verhaltensmöglichkeiten* erfasst, welches durch die entsprechenden objektiven *Wahrscheinlichkeiten für die Realisierung* jeder einzelnen Möglichkeit charakterisiert ist. Vor allem darum rankten sich die Auseinandersetzungen um Grundlagenfragen der Quantentheorie zwischen Einstein und Bohr. In diesen Auseinandersetzungen konnte Einstein nicht davon abgebracht werden, dass mit der Quantenmechanik die für die weitere Physikentwicklung notwendige realistische

134 Vgl. V. A. Fok, Über die Deutung der Quantenmechanik, in: Max-Planck-Festschrift, Berlin 1958, S. 177 ff.

Position aufgegeben wurde, während Bohr die *Objektivität* seines Komplementaritätsstandpunktes betonte und jede dem Einsteinschen Realismus folgende Modifikation der Quantenmechanik für unmöglich hielt.

Dirac hat bereits 1930 in seinem Lehrbuch zur Quantenmechanik undialektische Realismuskonzeptionen in akzeptabler Weise kritisiert. Er schilderte den *Fortschritt der theoretischen Physik* (Relativitätstheorie, Quantenmechanik) als eitlen Prozess, in dem für die gesetzmäßigen Beziehungen *mathematische Gleichungen* formuliert werden, welche gegenüber immer allgemeineren Transformationen *invariant* bleiben.[135] Dieser Prozess hat sich bis heute fortgesetzt. Die Theorie von Weinberg und Salam zur Vereinigung von schwacher und elektromagnetischer Wechselwirkung, die Quantenchromodynamik für die starke Wechselwirkung und die vorläufig noch spekulativen Eichfeldtheorien zur Vereinigung der genannten zwei, bzw. dieser mit der gravitativen Wechselwirkung (Supergravitation, Super-Symmetrie) liegen genau auf dieser Linie. Folglich bleibt auch die *erkenntnistheoretische Schlussfolgerung* Diracs weiterhin von Interesse. Er hat die sich 1930 erst abzeichnende Tendenz in der physikalischen Theoriendynamik auch in philosophischer Hinsicht als eine außerordentlich befriedigende Entwicklung angesehen, „denn sie läßt immer deutlicher erkennen, bis zu welchem Grade der Beobachter die Regelmäßigkeiten selbst schafft, die er in den Beobachtungen vorfindet, und wie gering andererseits die Willkür ist, die in den Naturgesetzen verbleibt".[136] Mit einer solchen Position sind natürlich *operationalistische* und *instrumentalistische* Deutungen der physikalischen Gesetze gleichermaßen *verboten.*

Bohr begründete mit der Feststellung, dass die quantenmechanische Wellenfunktion keine im Sinne der klassischen Physik objektivierbare Größe sei, die *objektive Notwendigkeit,* in der Quantenmechanik zwischen komplementären Phänomentypen über die Wahl der Messinstrumente zu unterscheiden. Er lehnte sowohl die von *Dirac* diskutierte Wahl von seiten der „Natur" als auch die von *Heisenberg* diskutierte Wahl von seiten des Beobachters ab; „denn einerseits ist es kaum angängig, die Natur mit Willen im üblichen Sinne auszustatten, während es andererseits dem Beobachter sicher nicht möglich ist, die Vorgänge zu beeinflussen, die unter den von ihm geschaffenen Bedingungen ablaufen".[137] Die Gesetzeskonzeption einer Theorie, welche das Verhalten atomarer Objekte in ihrer Wechselwirkung mit konkreten, klassisch beschreibbaren Messgeräten adäquat erfassen soll, darf weder objektivistisch noch subjektivistisch sein. Das hat Bohr klar erkannt. Er hat Pauli zwar zugegeben, dass es ein Trend der modernen Physik sei, dem *Beobachtungsproblem* verstärkt Aufmerksamkeit zu widmen und damit eine Brücke zu schlagen zwischen der Physik und anderen Gebieten unseres Wissens und unserer Interessen. Er hielt es aber für eine bedeutsame Errungenschaft

135 P. A. M. Dirac, Die Prinzipien der Quantentheorie, Leipzig 1930, S. V.
136 Ebenda.
137 N. Bohr, Erkenntnistheoretische Probleme in der Atomphysik, in: P. A. Schilpp (Hrsg.), Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher, a. a. O., S. 134 f.

der Physik, dass sie lehrt, *wie* man die *subjektiven Elemente* in der Beschreibung von Erfahrung schließlich eliminieren kann.[138]

Wir sehen im Bohrschen Komplementaritätsprinzip eine Konsequenz *historisch gewordener* Begriffsbildung in der Quantenmechanik, zu der es – mindestens bis heute – keine praktikable Alternative zu geben scheint. Der rationale Gehalt des *Hegelschen* Hinweises auf die Begrifflichkeit *jeder* Wissenschaft konnte für die Physik nicht in der Selbstbewegung von Begriffen deutlich werden, sondern nur in dem durch Experiment und messende Beobachtung *erzwungenen* Begriffswandel. Obgleich gerade das Bohrsche Komplementaritätsprinzip ein starkes Argument gegen die konventionalistische Behauptung von der Beliebigkeit wissenschaftlicher Begriffe liefert, darf die *relative* Eigenständigkeit physikalischer Theorienentwicklung (vom Rationalismus bis zur Autonomie überzogen) philosophisch nicht unterschätzt werden. Diese besagt – in Übereinstimmung mit dem Komplementaritätsprinzip –, dass Experiment und messende Beobachtung *allein* wissenschaftliche Begriffe *nicht* festzulegen vermögen.

Der von der Quantenmechanik vorausgesetzte Welle-Teilchen-Dualismus und die in den Unbestimmtheitsrelationen zum Ausdruck kommenden Beziehungen zwischen komplementären Begriffen bedeutet eine stärkere *Annäherung an die dialektische Widersprüchlichkeit materieller Objekte* als die von der klassischen Physik vorausgesetzten Konzepte. Die Vorstellung von der dialektischen Widersprüchlichkeit der Natur stimmt mit dem zur nichtrelativistischen Quantenmechanik führenden Theorieentwicklungsprozess besser überein als die Vorstellung vom Ausschluss dialektischer Widersprüche in der objektiven Realität. Keines der Resultate des *physikalischen* Erkenntnisprozesses darf aber mit der *philosophischen* Erkenntnis von der *Existenz objektiver dialektischer Widersprüche* in der Natur verwechselt werden.

In philosophischer Verallgemeinerung des realen Theorieentwicklungsprozesses und seines im Bohrschen Komplementaritätsarguments komprimierten Resultats gibt es keine Möglichkeit, die dialektische Widersprüchlichkeit materieller Objekte in Isolation vom Prozess ihrer Erkenntnis adäquat auszudrücken. *Naturdialektik lässt sich mithin nicht als eigenständige Ontologie konstituieren*; *sie ist das Resultat dialektischer Verschmelzung von Ontologie und Gnoseologie.*

4.2 Das Objektverständnis der nichtrelativistischen Quantentheorie

Erwin Schrödinger hat die Änderung in der Erkenntnissituation der modernen gegenüber der klassischen Physik über die Veränderung der Auffassung des *physikalischen Modells* als einem angemessenen Bild der Wirklichkeit verdeutlicht: „Die Beteuerung, daß jedes Modell, das man sich ausmalen mag, sicher noch unvollkommen und früher oder später der Abänderung bedürftig sein müsse, beschloß die stillschweigende Annahme, daß ein richtiges Modell existiert – existiert im Bereich der Platonischen

138 Vgl. N. Bohr, im Brief vom 2.3.1955 an W. Pauli, in: BSC 30, 4.

Idee – dem wir uns schrittweise nähern, ohne es, der menschlichen Unvollkommenheit verhaftet, wohl je zu erreichen.

Diese Haltung hat man heute verlassen. Unsere Mißerfolge beschränken sich nicht mehr auf Einzelheiten, sie sind so allgemeiner Art, daß sie uns etwa folgendes Gesamtbild enthüllen. In dem Maß als unser Blick in immer kleinere Räume und immer kürzere Zeitintervalle eindringt, finden wir alles so gänzlich verschieden von dem grob sichtbaren und greifbaren Verhalten der Körper unseres täglichen Umganges, daß kein an unserer grobsinnlichen Erfahrung geformtes Modell je Wahrheitswert wird beanspruchen können. Keine Offenbarung, keine innere Erleuchtung, die uns wie mit Zauberkraft alle irgend erreichbare Wissenschaft zu Füßen legte, könnte uns an dieses Ziel bringen. Ein völlig zufriedenstellendes Modell *dieser Art* ist nicht bloß praktisch unerreichbar, sondern denkunmöglich."[139]

Im Gegensatz zu der auf der Grundlage der klassischen Physik noch möglichen metaphysischen Konzeption isolierter Dinge und ihrer Eigenschaften müssen in der Quantentheorie die *Eigenschaften* von Objekten differenziert behandelt werden. – Es gibt im Rahmen der nichtrelativistischen Quantenmechanik physikalische Eigenschaften, die den *Objekten* unabhängig davon *zukommen,* ob sie beobachtet werden oder nicht. Sie charakterisieren die *Invarianz* der Objekte. Zu ihnen gehören elektrische Ladung, Ruhemasse und der erst relativistisch zu rechtfertigende Spin. Es gibt aber andererseits auch physikalische Eigenschaften der Objekte, die sich erst in *Abhängigkeit* von den konkreten *Beobachtungsbedingungen* zeigen. Vor einer entsprechenden Beobachtung sind derartige Eigenschaften lediglich als Verhaltensmöglichkeiten der Objekte charakterisierbar. Zu ihnen gehören Ort und Impuls. In Wechselwirkungen des Mikroobjekts mit materialisierten Beobachtungsbedingungen manifestieren sie sich in Übereinstimmung mit quantenmechanischen Wahrscheinlichkeitsgesetzen. Die Theorie bildet die *Wahrscheinlichkeiten ihrer Verwirklichung* ab.[140] Sie könnte mit dieser Klasse von Eigenschaften aber allein die Invarianz der Objekte nicht mehr garantieren.

Die wohl einschneidenste Änderung des quantenmechanischen Objektbegriffs gegenüber dem Objektbegriff der klassischen Physik aber ist darin zu sehen, dass Objekte der gleichen Sorte quantenmechanisch *ununterscheidbar* sind. Wenn es innerhalb eines statistischen Ensembles der klassischen Physik mindestens im Prinzip noch möglich war, die einzelnen Teilchen durchzunummerieren und damit zu unterscheiden, so ist das für die *Quantenstatistik* völlig ausgeschlossen. Hier kann man zwar die *Zustände* nummerieren, *nicht* aber die als *Individuen* unterstellten Mikroobjekte. Es lassen sich

139 E. Schrödinger, Naturwissenschaft und Humanismus (Die heutige Physik), Wien 1951, S. 36.

140 Die tiefere Ursache des prinzipiellen Gebrauchs wahrscheinlichkeitstheoretischer Überlegungen in der Quantenmechanik ist darin zu sehen, dass auch diese Theorie den Zusammenhang zweier materieller Strukturniveaus der physikalischen Bewegungsform abbildet. Siehe dazu: J. V. Sačkov, Wahrscheinlichkeit und Struktur, Berlin 1978, S. 183.

Aussagen darüber treffen, ob bestimmte Zustände besetzt sind oder nicht. Es lässt sich aber nicht sagen, mit welchem Teilchen sie besetzt sind. In Abhängigkeit davon, ob der ursprünglich phänomenologisch eingeführte Spin ganzzahlig oder halbzahlig ist, ergeben sich unterschiedliche Statistiken.

Nach dem Pauli-Prinzip können Teilchen mit einem halbzahligen Spin jeden Zustand nur einmal besetzen. Dieses Prinzip bringt eine in der klassischen Statistik völlig unbekannte Ganzheitseigenschaft des Ensembles zum Ausdruck, die gravierende Folgen für jedes einzelne Element des Ensembles hat. Die Ununterscheidbarkeit gleichartiger Mikroobjekte wird damit aber nicht aufgehoben. Es ist also unabhängig von der konkreten Statistik auf der Ebene der Quantenmechanik ein bedeutsamer Unterschied, ob *ein* Objekt *Element eines Systems* (*Ensembles*) ist, oder ob ein Objekt der gleichen Sorte als *isoliertes Objekt* in seiner Individualität unterstellt werden kann. Damit kommt in der Quantenstatistik eine *Systemkonzeption* zum Tragen, die gegenüber der in der klassischen Statistik benutzten noch stärker den *Ganzheitscharakter* des statistischen Ensembles betont. Diese Gesamtheit ist auch in der Quantentheorie aus Elementen zusammengesetzt. Sowie aber die Gesamtheit existiert, lassen sich die Teilchen nicht mehr individualisieren; sie sind nur noch Elemente der Gesamtheit. Schafft man solche Bedingungen, dass es keinen Teilchenfluss zwischen dem System und seiner Umgebung gibt, dann bleibt in der nichtrelativistischen Theorie die Teilchenzahl konstant.

Zusammenfassend ergibt sich für den *Objektbegriff der nichtrelativistischen Quantenmechanik* eine Situation, die der des Objektbegriffs in der Relativitätstheorie wenigstens zum Teil vergleichbar ist. Gemäß der speziellen und der allgemeinen Relativitätstheorie können die Dinge und ihre Eigenschaften nicht mehr beziehungslos nebeneinander existieren. Auf der Ebene der klassischen Physik schien das durchaus noch möglich zu sein. In der nichtrelativistischen Quantenmechanik mussten wir nun sehen, dass es neben Eigenschaften, die den Objekten selbst zukommen, solche Eigenschaften gibt, die erst im Resultat der Wechselwirkung mit anderen Objekten entstehen. Die Theorie bildet für die letztgenannten Eigenschaften wesentliche Beziehungen ab und geht damit in einem anderen Objektbereich als die Relativitätstheorie von der Vorstellung der an sich existierenden Objekte und den ihnen zuzuschreibenden Eigenschaften ab. Das Abgehen von dieser Konzeption ist jedoch nicht vollständig. Innerhalb der Theorie gibt es weiterhin auch solche Eigenschaften, die den Objekten selbst zuzuschreiben sind, die es ermöglichen, eine Klasse von bestimmten Objekten von einer anderen Klasse von Objekten zu unterscheiden. Die Spezifik der von der nichtrelativistischen Quantenmechanik erfassten Objekte erlaubt also für einige Eigenschaften nach wie vor die Beibehaltung der vereinfachten Dingkonzeption, die im mechanischen Materialismus generell unterstellt war.

Die nichtrelativistische Quantenmechanik aber vollzieht mit der Ununterscheidbarkeit gleichartiger Teilchen noch einen Schritt über die von der Relativitätstheorie nahegelegte Objektkonzeption hinaus, indem sie wesentliche Beziehungen zwischen

gleichartigen Objekten in ihrer wechselseitigen Bedingtheit und Bestimmtheit erfasst. Da in der *relativistischen Quantentheorie* weitere Eigenschaften der Mikroobjekte als Resultat ihrer Wechselwirkung mit anderen Objekten bzw. mit ihrer Umgebung angesehen werden und *im Grenzfall sogar alle physikalischen Objekteigenschaften Resultat von physikalischen Wechselwirkungen* sind, da darüber hinaus in der relativistischen Quantentheorie auch die *Teilchenerhaltung aufzugeben* ist und ständig die Erzeugung und Vernichtung von Teilchen und deren Antiteilchen zu berücksichtigen sind, stellt sich die Gesamtentwicklung des Objektbegriffes der Physik des 20. Jahrhunderts als ein eindrucksvoller Beleg für die Grundthese des *dialektischen Determinismus* dar. Die materiellen Objekte, ihre Eigenschaften und Beziehungen, *die Gesamtheit materieller Prozesse und Erscheinungen bedingen und bestimmen sich wechselseitig.* Allgemeinnotwendige und wesentliche Zusammenhänge zwischen den Objekten und ihren Eigenschaften in der Vielfalt materieller Prozesse und Erscheinungen wurde mit dem Eindringen in die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Materiestruktur immer adäquater erkannt. Einen wesentlichen Fortschritt brachte dabei der Übergang von der nichtrelativistischen zur relativistischen Quantentheorie.

Nachdem die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie ihren Siegeszug in der Physik angetreten hatten, beschäftigten sich die Theoretiker damit, die physikalischen Theorien relativistisch zu formulieren. Der Übergang von der Atom und Molekülphysik zur Kernphysik und schließlich zur Elementarteilchenphysik machte die speziell-relativistische Formulierung der Quantentheorie aber auch aus experimentellen Gründen dringend erforderlich. Die Versuche, die Postulate der Quanten und der Relativitätstheorie in einer Theorie zu vereinigen, führten auf neue physikalische Probleme und warfen damit zusammenhängende philosophische Fragen auf.[141]

4.3 Relativistische Erweiterungen der Quantentheorie

Ausgehend von dem bereits in der klassischen Physik vorliegenden Teilchen- und Feldkonzept, gab es für die *relativistische* Formulierung der Quantentheorie zwei Zugänge. In der nichtrelativistischen Quantenmechanik hatte sich das *Teilchenkonzept* in dem durch den Welle-Teilchen-Dualismus eingeschränkten Sinne bewährt. Es galt deshalb für die relativistische Theorie, die vom Moment der *Diskontinuität* physikalischer Objekte auszugehen versuchte, eine Lorenz-invariante Bewegungsgleichung zu formulieren. Dies gelang kurz nachdem die Bewegungsgleichung der nichtrelativistischen Quantenmechanik bekannt war, das Einkörper- und Zweikörperproblem durchgerechnet waren und man Näherungsverfahren für das Mehrkörperproblem

141 Vgl. V. P. Branskij, Filosofskie osnovanija problemy sinteza reljativistskich i kvantovych prinzipov, Leningrad 1973; K. Lanius, Mikrokosmos – Makrokosmos, Das Weltbild der Physik, Jena, Berlin 1988; Ch. Spiering, Auf der Suche nach der Urkraft, Leipzig 1986; M. Stöckler, Philosophische Probleme der relativistischen Quantenmechanik, Berlin S. 84.

entwickelt hatte. Bereits 1928 konnte Dirac seine wegweisende relativistische Gleichung des Elektrons in der Form

$$\imath\hbar \frac{\delta\Psi}{\delta t} = H\Psi$$

angeben. Zwar hatten die darin vorkommenden Größen Ψ und H gänzlich andere Bedeutungen als in der nichtrelativistischen Wellengleichung, da aber die Diracgleichung sich der Form nach nicht von der Schrödingergleichung unterschied, konnte man darauf hoffen, die relativistische Theorie nach dem Vorbild der nichtrelativistischen aufzubauen. Diese Hoffnung stellte sich jedoch bald schon als Trugschluss heraus. Man stieß nämlich auf eine Eigenschaft dieser Gleichung, die *fundamentale Unterschiede zwischen einer nichtrelativistischen und einer relativistischen Quantentheorie* anzeigte. – Daß die neue Gleichung den phänomenologisch in die Atomphysik eingeführten Spin enthielt, war ein praktischer Hinweis auf die Bedeutung der relativistischen Theorie selbst für die Experimentalphysik. Damit ergaben sich für die Theoretiker keine wesentlichen Schwierigkeiten. Die traten an einer anderen Stelle auf.

Neben Größen mit positiver kinetischer Energie kamen in der Diracgleichung für das relativistische Elektron auch solche mit *negativer kinetischer Energie* vor. Dazu gab es *kein klassisches Analogon*. Diese als „Löcher" gedeuteten Objekte konnten in Elektronen übergehen und umgekehrt. Dirac formulierte die Hypothese, dass damit bislang noch nicht entdeckte Teilchen beschrieben würden. Sie sollten die gleiche Masse und die gleiche Ladung wie Elektronen haben, im Unterschied zu den Elektronen aber positiv geladen sein. Die 1932 dann auch tatsächlich entdeckten Teilchen (*Positronen*) entsprachen voll und ganz den Voraussagen dieser Theorie. Sie stellen das Antiteilchen zum Elektron dar. Inzwischen wissen wir, dass es zu jedem Teilchen *Antiteilchen* gibt. Diese sind, obwohl manchmal in ihrer Gesamtheit als „Antimaterie" bezeichnet, *ebenso materiell wie die Teilchen*. Sie unterscheiden sich von ihnen lediglich durch das Vorzeichen in einigen ihrer Quantenzahlen.

Mit der erfolgreichen Voraussage eines neuen Elementarteilchens schien die Physik nun auf einem tieferen Niveau der Materiestruktur in die Situation versetzt zu sein, wie sie die Chemie des 19. Jahrhunderts nach der Entdeckung des Periodensystems der Elemente erlebt hatte. Waren damals auf der Grundlage von Fehlstellen in diesem Klassifikationsschema der Elemente neue Elemente und deren Eigenschaften vorausgesagt worden, so sollte es jetzt im Prinzip in der *Physik* möglich sein, auf dem einmal eingeschlagenen Weg die *Gesamtheit der Grundbausteine der Materie* zu bestimmen. Das erwies sich aber als eine weitaus kompliziertere Aufgabe als man zunächst angenommen hatte.

Der Zugang zur relativistischen Quantentheorie, der mit der Diracgleichung eröffnet war, zeigte sich als weniger vorteilhaft als ursprünglich angenommen wurde. Man war dabei von der Vorstellung ausgegangen, die *Wellengleichung eines Teilchens* relativistisch invariant zu beschreiben und das Mehrkörperproblem durch störungstheoretische Näherungsverfahren nach dem Vorbild der nichtrelativistischen Quantenmechanik

zu bewältigen. Diese versagen jedoch beim relativistischen Vielkörperproblem. Daher war zu fragen, ob der das Moment der *Diskontinuität* materieller Objekte betonende Zugang zu einer relativistischen Theorie wirklich der günstigste sei. Ausgehend vom Welle-Teilchen-Dualismus der Quantenmechanik stellte sich die Frage, ob der das Moment der *Kontinuität* materieller Objekte betonende *feldtheoretische Zugang* zur relativistischen Quantentheorie nicht wäre.

Indem man die Quantenvorstellung in die *Elektrodynamik* einbrachte, wurde innerhalb einer Feldtheorie selbst jetzt auch die *Dialektik von Kontinuität und Diskontinuität* zum Tragen gebracht. Die so entstandene *Quantenelektrodynamik* ist heute die experimentell am besten überprüfte Quantenfeldtheorie. Aber auch in dieser Theorie gibt es ein Problem, das die klassische Feldtheorie nicht kannte. In den Lösungen der Feldgleichungen treten *Divergenzen* auf, die zwar durch *Renormierung* in Übereinstimmung mit der Erfahrung zu *umgehen,* aber deshalb noch nicht *erklärt* waren. „Erklärungen" werden unter anderem darin gesehen, dass die in die Feldtheorien eingehende *mathematische Beschreibung des Kontinuums* physikalisch nicht adäquat sei. C. F. v. Weizsäcker meinte beispielsweise, dass Aristoteles' potentielle Auffassung des Kontinuums möglicherweise besser der quantentheoretischen Denkweise entspräche als die mengentheoretisch formulierte Auffassung von der aktuellen Existenz einer überabzählbaren Mannigfaltigkeit der reellen Zahlen, bzw. der von ihnen bezeichneten Raumpunkte.[142] Viele der Theoretiker deuten die für die Quantenfeldtheorien charakteristischen Divergenzen heute als Folge des Vorgehens, zunächst *wechselwirkungsfreie „elementare" Felder* zu unterstellen und dann die *Wechselwirkung* einzuschalten. Die Divergenzen ergeben sich immer aus der Betrachtung der Wechselwirkung und könnten anzeigen, dass möglicherweise an diesem gesamten Verfahren etwas zu korrigieren wäre. Da es aber dazu bislang keine Alternative gibt und man inzwischen die Klasse der renormierbaren Quantenfeldtheorien bestimmen kann, finden sich die Theoretiker gegenwärtig notgedrungen mit einem solchen Verfahren ab.

Philosophisch interessant ist, *wie* im Rahmen einer Quantenfeldtheorie physikalische Wechselwirkung erfasst wird. Bleiben wir beim Beispiel der *Quantenelektrodynamik*. Sie geht davon aus, dass *elektromagnetische Wechselwirkung* zwischen zwei Teilchen durch den *Austausch virtueller Photonen* zu beschreiben sei. Von „virtuellen" Photonen spricht man deshalb, weil sie unter zeitweiliger Verletzung des Energie- und Impulserhaltungssatzes, welche in Übereinstimmung mit der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation für Energie und Zeit erfolgt, von einem der räumlich getrennten, miteinander wechselwirkenden Teilchen emittiert und von den anderen dieser Teilchen zu einem späteren Zeitpunkt absorbiert werden, ohne als sichtbares Licht registriert werden zu können. Diese Photonen existieren also ausschließlich zur *Vermittlung der Wechselwirkung.* Sie werden in die Theorie eingeführt, um aus dem *Fernwirkungsansatz*

142 Vgl. C. F. v. Weizsäcker, Die Einheit der Natur, München 1971, S. 163.

einen *feldtheoretischen Nahwirkungsansatz* zu machen, in dessen Rahmen es nur noch *lokale* Wechselwirkungen *punktförmiger Teilchen* gibt. Diese theoretische Vorstellung wird dadurch gestützt, dass bei Elektronen bis in die Größenordnung von 10^{-16} cm *keine* innere Struktur gefunden werden konnte. Sollten jenseits dieser Regionen Hinweise auf die innere Strukturiertheit des Elektrons erfolgen, dann würde damit der Gültigkeitsbereich der Quantenelektrodynamik eingeschränkt, die ausschließlich lokale Wechselwirkungen an singulären Raum-Zeitpunkten betrachtet.

Die Idee, dass physikalische Wechselwirkungen über *Austauschteilchen* vermittelt werden, liegt auch den anderen Quantenfeldtheorien zugrunde. Beginnend mit der Analyse der Kräfte, die die Stabilität der aus Protonen und Neutronen bestehenden Atomkerne garantieren, wurden in der Physik neben dem elektromagnetischen Feld noch weitere Felder untersucht. Die *Quantenfeldtheorien* charakterisieren ein bestimmtes „elementares" wechselwirkungsfreies Feld (mittels linearer Feldgleichungen) und dessen äußere Wechselwirkungen. Sie setzen die speziell-relativistische Raum-Zeit-Union und den quantentheoretischen Zustandsraum voraus. Die Feldgrößen des „elementaren" Feldes treten als lineare Operatoren im Zustandsraum auf. Die verschiedenen Typen dieser Felder unterscheiden sich in ihrem Transformationsverhalten. Die Invarianz der Grundgleichungen gegenüber Lorentz-Transformationen ist für alle relativistischen Feldtheorien gegeben. Daneben sind aber noch andere Transformationen zu beachten. Gegenüber welcher Transformationsgruppe die Grundgleichungen invariant zu bleiben haben, wird von der Erfahrung nahegelegt. Das seit der speziellen Relativitätstheorie bekannte Verfahren, zum Aufbau neuer Theorien deren Grundgleichungen invariant gegenüber bestimmten Transformationen zu formulieren, erweist sich immer mehr als ein für die gesamte moderne Physikentwicklung bedeutsames heuristisches Mittel.[143] Was für die „Spürkraft" des Relativitätsprinzips ausgeführt wurde, lässt sich auch auf die jeweiligen Symmetrieforderungen beim Aufbau relativistischer Quantenfeldtheorien übertragen. Die von einer Transformationsgruppe zugelassenen Transformationen besagen, dass es verschiedene, prinzipiell aber gleichwertige Arten gibt, den entsprechenden mathematischen Beschreibungsraum der jeweiligen Feldtheorie aufzubauen. Mit höheren Symmetrien werden die innerhalb physikalischer Theorien zu benutzenden *mathematischen Beschreibungsräume* komplizierter. Während die Spezielle Relativitätstheorie Raum und Zeit zur Raum-Zeit-Union verschmolz, ohne die Euklidische Geometrie zu verändern, die allgemeine Relativitätstheorie eine allgemeinere Geometrie verlangte, die nichtrelativistische Quantenmechanik die Dimensionszahl des Beschreibungsraumes mit der Teilchenzahl erhöhte und für den

143 Vgl. B. Gruber/R. Lenczewski, Symmetries in Science, New York 1986; H. Hörz, Materiestruktur. Dialektischer Materialismus und Elementarteilchenphysik, Berlin 1971, S. 329 ff.; B. M. Kedrov/N. F. Ovčinnikov (Hrsg.), Prinzip simmetrii. Istoriko-metodologičeskie problemy, Moskva 1978; E. Schmutzer, Symmetrien und Erhaltungssätze der Physik, Berlin – Oxford – Braunschweig 1972.

Übergang vom Zustandsraum zum Koordinatenraum ein zusätzliches Postulat einführen musste, haben es alle Quantenfeldtheorien mit Beschreibungsräumen zu tun, von denen es noch schwieriger ist, zu zeitlich geordneten Ereignissen im *dreidimensionalen Beobachtungsraum* überzugehen. *Raum und Zeit* hören nicht auf, *Existenzformen der Materie* zu sein. Der *dialektische Zusammenhang von Materie*, *Bewegung*, *Raum und Zeit* wird auf der Ebene relativistischer Quantenfeldtheorien aber weitaus tiefer widergespiegelt als etwa noch in der klassischen Physik oder der speziellen Relativitätstheorie.

Mit den Quantenfeldtheorien hat sich die aus der klassischen Physik bekannte und auch in der nichtrelativistischen Quantenmechanik noch nicht modifizierte physikalische Vorstellung vom *Vakuum* ganz entscheidend geändert. Bezeichnete „Vakuum" früher die praktisch zwar niemals vollständig zu realisierende theoretische Idealisation des absolut leeren Raumes, so steht es in den Quantenfeldtheorien für den *physikalischen Grundzustand*, in dem die zeitweilige Erzeugung und Vernichtung virtueller Teilchen in Übereinstimmung mit den Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen für Energie und Zeit stattfindet. Die Gesamtheit dieser Prozesse wird als „*Vakuumsschwankungen*" bezeichnet. Die Quantenfeldtheorien erlauben also weder ein strukturloses physikalisches raumzeitliches Bezugssystem noch eine in ihrer Statik zu erfassende Struktur ihres Grundzustandes. Bereits die *Struktur* des *Grundzustandes* ist in der Quantenfeldtheorie nur noch in ihrer *Dynamik* zu erfassen; *materielle Objekte und Bewegung lassen sich hier prinzipiell nicht mehr trennen*, *Materie und Bewegung* bilden eine unauflösliche *dialektische Einheit.* Raum-zeitliche Beziehungen ohne Berücksichtigung der stets vorhandenen Vakuumschwankungen sind quantenfeldtheoretisch unzulässige Idealisierungen realer Raum-Zeit-Beziehungen.

Aus der Existenz der Vakuumsschwankungen folgt, dass das bislang unterstellte *Teilchenbild elementarer Objekte* weiter modifiziert werden muss. Inwiefern diese Modifikation den auf der Ebene nichtrelativistischer Betrachtungen bereits zu berücksichtigenden Welle-Teilchen-Dualismus zu erklären gestattet, lässt sich gegenwärtig noch nicht exakt einschätzen.

Betrachten wir für die *Modifikation des Teilchenkonzepts* in der Quantenfeldtheorie wiederum ein Beispiel aus der Quantenelektrodynamik. Danach ist jedes einzelne Elektron in eine Wolke virtueller Photonen und virtueller Elektron-Positron-Paare des Vakuums eingeschlossen. Da die Positronen der virtuellen Paare in der Nähe eines Elektrons von dessen negativer Ladung angezogen und die Elektronen dieser Paare abgestoßen werden, kommt es zu einer Polarisation der immer wieder erzeugten und vernichteten virtuellen Teilchen um jedes Elektron. Die so in unmittelbarer Nähe des Elektrons gebildete Wolke aus positiven Ladungen führt zu einer teilweisen Abschirmung der „nackten" Elektronenladung. Die tatsächlich für ein Elektron gemessene Ladung ist also die Differenz zwischen der „nackten" Ladung eines einzelnen, völlig isolierten Elektrons und der Ladung der virtuellen Positronen.

Wie die jüngste Entwicklung der relativistischen Quantenfeldtheorie gezeigt hat, lassen sich durch entsprechend allgemeine Transformationsgruppen sowohl *Fortschritte*

bei der Theorie der starken Wechselwirkung als auch bei der *Vereinheitlichung der theoretischen Konzepte der schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkung*. Es gibt auf diesem Wege inzwischen berechtigte Hoffnungen, *die starke*, *die elektromagnetische und die schwache Wechselwirkung einheitlich* zu behandeln und bereits erste Ansätze über Supersymmetrien auch die *Gravitationswechselwirkungen* mit einzubeziehen.[144]

Aus der Tatsache, dass die Quantenelektrodynamik und die Gravitationstheorie *Eichfeldtheorien* sind, kam man zunächst zu der Hypothese, dass alle fundamentalen Wechselwirkungen in der Natur durch Eichfelder zu beschreiben sind. Die bisher erzielten Erfolge stimmen die Physiker optimistisch. Beginnend mit Arbeiten von S. Weinberg und A. Salam (1964/67) gelangen Fortschritte bei der einheitlichen Behandlung von elektromagnetischer und schwacher Wechselwirkung und haben inzwischen bereits zu Lehrbuchdarstellungen sowie experimentellen Bestätigungen wichtiger Konsequenzen geführt. Ähnlich erfolgreich entwickelt sich die Quantenchromodynamik als Theorie der starken Wechselwirkung.[145] Sie hat interessante Einsichten in die inneren Symmetrien von Hadronen gewonnen.

Diese Eichfeldtheorien verfügen im Hinblick auf die *Widerspiegelung objektiver Dialektik der Natur* über einige bemerkenswerte Eigenschaften. In ihnen wird der Dualismus *Feld – Teilchen* zum Ausgangspunkt theoretischer Betrachtungen. Alle Versuche, diese in der klassischen Physik als metaphysische Gegensätze behandelten Objekte zu reduzieren, scheinen wenig aussichtsreich zu sein. Die Theorie der Eichfelder geht von fundamentalen *Feldern und* den die Wechselwirkungen vermittelnden *Teilchen* aus. Die physikalische Theorie wird damit weder auf Teilchen noch auf Feldphysik reduzierbar. Stößt man hier auf einen grundsätzlichen Zug des dialektisch widersprüchlichen physikalischen Naturverständnisses? Zumindest scheint sich die Linie von der Lichtquantenhypothese Einsteins über die Hypothese de Broglies und den prinzipiellen quantenmechanischen Welle-Teilchen-Dualismus fortzusetzen, ohne dass dabei bislang gegenüber der Quantenmechanik neue erkenntnistheoretische Schlüsse zu ziehen waren.

Ein weiteres, im Hinblick auf die objektive Dialektik der Natur verallgemeinerungsfähiges Moment der Eichfeldtheorien ist in der Tatsache zu sehen, dass die effektiven Kopplungskonstanten dieser Felder für verschwindend kleine Abstände der wechselwirkenden Teilchen, also für große Energien der Wechselwirkung, gegen Null gehen. Damit wird im hochenergetischen Bereich das traditionelle Bild von der Beziehung der relativen Stärke unterschiedlicher Wechselwirkungen in Frage gestellt. (Siehe dazu 3.4.) In Abhängigkeit von der Masse der Teilchen kann die Stärke der starken Wechselwirkung auf die der elektromagnetischen abklingen, die schwache kann die elektromagnetische erreichen bzw. (*asymptotische Freiheit*). Mithin stehen die

144 Vgl. P. G. O. Freund, Introduction to Supersymmetry, Cambridge 1986; J. Wess, J. Bagger, Supersymmetry and Supergravity, Princton 1983.
145 Vgl. E. Becher/M Böhm, H. Joos, Eichtheorie der starken und der elektroschwachen Wechselwirkung, Stuttgart 1981.

verschiedenen Typen der fundamentalen Wechselwirkung nicht mehr in ihrer bislang phänomenologisch gerechtfertigten Trennung nebeneinander. In den Ansätzen zu einer einheitlichen Theorie der Wechselwirkungen werden die Zusammenhänge und gegenseitigen Übergänge physikalisch analysiert.[146]

Für Engels war die *Dialektik* die für die „Naturwissenschaft wichtigste Denkform, weil sie allein das Analogon und damit die Erklärungsmethode bietet für die in der Natur vorkommenden Entwicklungsprozesse, für die Zusammenhänge im ganzen und großen, für die Übergänge von einem Untersuchungsgebiet zum andern".[147] In diesem Sinne kommt in dem geschilderten Vorgehen bei der *Vereinheitlichung der theoretischen Grundlagen* der Hochenergiephysik Dialektik zum Tragen.

Die bisherigen Bemühungen der Physiker, die *Raumzeitstrukturen* mit den *inneren Symmetrien der Teilchen* zu vereinigen, scheinen darauf hinzudeuten, dass der die starke elektromagnetische und schwache Wechselwirkung zusammenfassende theoretische Ansatz noch zu eng ist. Die sich dabei ergebenden Schwierigkeiten können – wie sich jetzt zeigt – möglicherweise dadurch umgangen werden, dass einem einzuführenden algebraischen Superraum eine supersymmetrische Feldtheorie auch die *Gravitationswechselwirkung* mit berücksichtigt. In dieser Richtung jedenfalls laufen Versuche, die den allgemeinen philosophischen Gedanken von Engels für eine konkrete Situation noch weiter präzisieren könnten.

Seit kurzem konzentriert sich die Aufmerksamkeit der Theoretiker auf einen neuen, verheißungsvollen Zugang zu einer *einheitlichen Feldtheorie*, die Theorie der Strings bzw. Superstrings.[148] Danach sollen die Konstituenten materieller Objekte nicht länger Punkte sein, sondern eindimensionale Kurven von der Größenordnung der Planck-Länge ($1{,}6 \cdot 10^{33}$ cm). Die entsprechenden Theorien haben aber noch keine Konsequenzen gezeitigt, welche schon experimentell überprüfbar wären.

Die Ausführungen zur Problematik relativistischer Erweiterungen der Quantentheorie haben immer wieder Neusetzungen der *Problemantinomie* von *Kontinuität und Diskontinuität* geführt. Dies bestärkt uns in der Überzeugung, dass damit auf einen *dialektischen Widerspruch in der objektiven Realität* verwiesen wird.

4.4 Zum Zusammenhang materieller Strukturniveaus

Die *statistische Begründung der Thermodynamik* hat erstmalig den Gedanken hervorgebracht, dass innerhalb der physikalischen Bewegungsform der Materie *unterschiedliche materielle Strukturniveaus* festzustellen sind und der Zusammenhang dieser Struk-

146 Vgl. P. Davies, Die Urkraft. Auf der Suche nach einer einheitlichen Theorie der Natur, Hamburg – Zürich 1987; Ch. Spiering, Auf der Suche nach der Urkraft, Leipzig 1986.
147 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26, Berlin 1985, S. 330.
148 Vgl. J. H. Schwarz, Superstrings, in: Physics Today, Nov. 1987, pp. 33-40; J. H. Schwarz (ed.), Superstrings – the first 15 years, Singapore 1985.

turniveaus auch zum Gegenstand *einer* physikalischen Theorie zu machen ist. Mit der für die Atom- und Molekülphysik benötigten *Quantenmechanik* sind wir auf eine Theorie gestoßen, die die Beziehungen zwischen den mittels klassisch-physikalisch beschreibbaren Meß- und Beobachtungsgeräten und den mikrophysikalischen Objekten erfasst. Für Atome und Moleküle existiert keine Objekttheorie im Sinne der klassischen Physik; die moderne Atom- und Molekülphysik legt zugleich Rechenschaft darüber ab, dass all unsere „Erfahrungen" mit der Mikrophysik mittels makrophysikalischer Geräte gewonnen werden, wir mikrophysikalische Ereignisse stets über makrophysikalische Folgen dieser Ereignisse „wahrnehmen".

Atome und Moleküle stellen das erste materielle Strukturniveau *unterhalb* der Ebene der von Menschen unmittelbar sinnlich wahrnehmbaren und motorisch beherrschbaren Objekte (Welt der mittleren Dimensionen) dar. Die *Kernphysik* und die sich daran anschließende Hochenergiephysik (zur Erforschung *subnuklearer Bausteine der Materie* und deren Wechselwirkungen) haben zu der Erkenntnis geführt, dass darüber hinaus weitere materielle Strukturniveaus mit den für sie jeweils spezifischen Gesetzen existieren.[149] Bei der Charakterisierung der gegenwärtig bekannten physikalischen Strukturniveaus und ihres wechselseitigen Zusammenhangs ist zu beachten, was bereits der erste Schritt in den Mikrokosmos verdeutlicht hat: Alle Aussagen zur Materiestruktur stellen eine dialektische Einheit von Ontologie und Gnoseologie dar. Das vom Menschen auf der Grundlage seiner jeweils verfügbaren Erkenntnisse formulierte *physikalische Weltbild* ist *historisch und systematisch an den Menschen* einschließlich seiner natürlichen Voraussetzungen und seiner Kultur *gebunden*. Es müsste zwangsläufig anders aussehen, wenn der menschliche Körper etwa die Größenordnung des Proton oder aber kosmischer Objekte hätte. Bekanntlich sah dieses Weltbild bei den antiken griechischen Naturphilosophen anders aus als zum Zeitpunkt der Entstehung der Physik der Neuzeit und in den nachfolgenden Etappen der Wissenschaftsentwicklung.

Wir wollen nunmehr, ohne auf die Geschichte des Weltbildwandels einzugehen,[150] den aktuellen Stand physikalischer Erkenntnisse zur Materiestruktur zusammenfassen, um schließlich eine philosophische Position zur Atomismusproblematik beziehen zu können.

Philosophisch kann man dabei *Atomismus* zunächst als jene Auffassung charakterisieren, der zufolge alle materiellen Objekte aus elementaren Objekten, den Atomen, zusammengesetzt sind.[151] Diese Idee ist in Auseinandersetzung mit der von Anaxagoras aufgestellten Behauptung der unendlichen Teilbarkeit aller materiellen Objekte auf materialistischer Grundlage entstanden und hat in Platon sofort ihren idealistischen

149 Vgl. K. Lanius, Physik der Elementarteilchen, Berlin 1981; G. Musiol/J. Ranft/D. Seeliger, Kern- und Elementarteilchenphysik, Berlin 1987.
150 Vgl. M. Brown/L. Hoddeson (eds.), The Birth of Particle Physics, Cambridge 1986; S. Weinberg, The Discovcry of Subatomic Particles, New York 1984.
151 Vgl. U. Röseberg, Philosophie und Physik. Atomismus in drei Jahrtausenden, Leipzig 1982.

Kritiker gefunden. Wird die vom Atomismus behauptete Existenz elementarer Objekte angenommen, geht die weltanschauliche Auseinandersetzung seit Demokrit, Epikur und Lukrez darum, ob es *letzte*, *unteilbare Bausteine der Materie* gibt und ob es sich bei den jeweils elementarsten Objekten um *materielle* oder *ideelle Objekte* handelt.

Die theoretische Bedeutung des Atomismus für ein dialektisch-materialistisches Weltverständnis ist nicht zuletzt in dem Versuch zu sehen, mit der Einführung des Konzepts von den Atomen und der Leere Bewegung auch *denk*möglich zu machen.[152] Dies war vom eleatischen Standpunkt der Einheitlichkeit des Seins ein *nicht* zu lösendes Problem. Ohne hier näher auf die Funktion des Atomismus bei der Begründung der neuzeitlichen Physik eingehen zu können, wollen wir nun in Verallgemeinerung der Erkenntnisse eines Teilbereichs gegenwärtiger physikalischer Grundlagenforschung, der Hochenergiephysik, fragen, *wieweit* das *Atomismuskonzept* heute noch *physikalisch trägt*.

Ersichtlich sind die um die Jahrhundertwende von Physikern und Philosophen heftig umstrittenen *Atome* physikalisch existent; ebenso sicher ist aber auch, daß die Bezeichnung dieser Objekte als „Atome" reichlich verfrüht war. Sie bestehen aus einem positiv geladenen *Kern* und einer *Elektronenhülle*. Der Atomkern besteht aus Protonen und Neutronen, die ebenso wie alle anderen stark wechselwirkenden „Elementarteilchen" *Quarks* als elementare Konstituenten haben. Unterhalb der Ebene der Atome existieren also *mindestens drei weitere materielle Strukturniveaus*, deren Zusammenhang Gegenstand physikalischer Forschung ist.

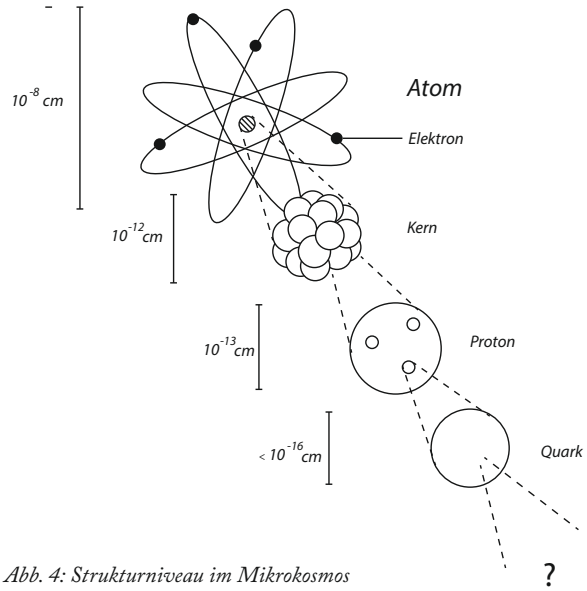

Abb. 4: Strukturniveau im Mikrokosmos

152 Vgl. R. Wahsner, Das Aktive und das Passive. Zur erkenntnistheoretischen Begründung der Physik durch den Atomismus – dargestellt an Newton und Kant, Berlin 1981, S. 26 ff.

Heute wird allgemein nicht mehr daran gezweifelt, dass *Leptonen* (Teilchen, die nicht der starken Wechselwirkung unterliegen), *Quarks*, die *Austauschquanten* der starken Wechselwirkung (Gluonen), der schwachen Wechselwirkung (w ±, z-Bosonen) und der elektromagnetischen Wechselwirkung (Photonen) *elementare Konstituenten der Materie* sind. Da nach wie vor noch umstritten ist, ob die Gravitationstheorie quantenfeldtheoretisch behandelt werden kann, bleibt unklar, ob auch Austauschquanten der Gravitationswechselwirkung existieren.

Ob unterhalb des materiellen Strukturniveaus der Quarks und der Leptonen noch ein weiteres existiert, also auch diese Objekte wiederum *elementareren Konstituenten* mit möglicherweise völlig neuartigen Charakteristika „aufgebaut" sind, lässt sich gegenwärtig weder experimentell noch theoretisch entscheiden. Allein der Hinweis darauf, dass die gemessene elektrische Ladung des Elektrons, also eines Leptons, und des aus Quarks aufgebauten Protons bis an die Grenze derzeitiger Messgenauigkeit absolut übereinstimmen, mag genügen, um zu verdeutlichen: Die Welt der *Leptonen* und die Welt der *Quarks* fallen nicht metaphysisch auseinander, sondern müssen über eine *tieferliegende Ordnung* miteinander in Beziehung stehen. Da die zur Aufklärung dieser Beziehung entworfenen Theorien (GUT; SUSY, Superstrings u. a.) bislang noch höchst spekulativ sind, findet das seit der Antike gepflegte Weiterfragen derzeit auf der Ebene der Leptonen und der Quarks seinen vorläufigen Abschluss. Fassen wir deshalb kurz zusammen, was als gesichert gelten kann:

Gegenwärtig sind 6 Leptonen (Elektron e^-, μ^-, τ^- und drei Neutrinos ν_e, ν_μ, ν_τ), die dazugehörigen 6 Antiteilchen (e^+, μ^+, τ^+, $\tilde{\nu}_e$, $\tilde{\nu}_\mu$, $\tilde{\nu}_\tau$), 6 verschiedene Quarks (u, d, s, c, b, t) jeweils in drei Ausführungen (3 Farbquantenzahlen r, g, b) und den entsprechenden Antiteilchen bekannt. Das ergibt zusammengenommen 48 Konstituenten physikalischer Objekte. Um die Struktur der in der Natur vorkommenden Atome und Atomkerne zu erklären, genügen die u- und d-Quarks als Konstituenten von Protonen (uud) und Neutronen (udd), die um den Kern „kreisenden" Elektronen (e^-); sowie die Positronen (c^+), Elektronenneutrinos (ν_e) und die Antielektronenneutrinos ($\tilde{\nu}_e$), die neben den Elektronen in radioaktiven Zerfällen der Kerne vorkommen. Alle anderen Teilchen werden benötigt, um die an modernen Teilchenbeschleunigern ausgeführten Experimente verstehen zu können.[153]

Zwar hat sich bis zu dieser Ebene der *Atomismus* heuristisch als außerordentlich fruchtbare Orientierung erwiesen, gleichzeitig aber erfuhr das *Objektverständnis* der dabei als elementar anzusehenden Objekte tiefgreifende Wandlungen (siehe dazu 4.2. und 4.3.). Mit den *Quarks* ist die Physik erstmalig auf Objekte gestoßen, die gegenwärtig nicht isoliert werden können, weil ihre wechselseitigen Anziehungskräfte mit größer werdendem Abstand so zunehmen, dass alle verfügbaren Energien nicht ausreichen, um sie aus dem Verband des jeweiligen Objektes herauszulösen. Dass sie *Konstituenten* von Hadromen darstellen, ist durch Streuexperimente zweifelsfrei nachgewiesen. Es ist

153 Vgl. Ch. Spiering, Auf der Suche nach der Urkraft, a. a. O., S. 48.

nicht ausgeschlossen, dass auch sie wiederum aus elementareren Konstituenten bestehen. Allerdings liegen dafür noch keine gesicherten experimentellen Erkenntnisse vor.

Philosophisch interessant ist die Tatsache, dass die hier als Ergebnisse physikalischer *Strukturforschung* zusammengefassten Erkenntnisse inzwischen von großer Bedeutung für die kosmologische *Evolutionsforschung* geworden sind (siehe dazu 3.5).[154] Dies ist ein exemplarisches Beispiel für die in der gegenwärtigen naturwissenschaftlichen Forschung zu beobachtende *generelle Tendenz des Übergangs vom Strukur- und Prozessdenken zum Entwicklungsdenken*, dass philosophisch auf die *Notwendigkeit des dialektischen Denkens* führt. Dialektik aber ist auch für die Struktur- und Prozessforschung von Bedeutung.

Wir wollen diesen Gedanken abschließend an den philosophischen Auseinandersetzungen um den Atomismus erläutern. *Kant* hatte in der „zweiten Antinomie der reinen Vernunft" sowohl für die These der Teilbarkeit aller Substanzen und ihres Aufbaus aus einfachen Elementen (Atomen) als auch deren Antithese (Unteilbarkeit, Nichtexistenz einfacher Elemente) philosophische Argumente vorgetragen. Er war von *Hegel* dafür getadelt worden, dass er letztlich doch wieder versucht hatte, diese Antinomie aufzulösen.[155] Daran knüpfte *Engels* mit der Bemerkung an: „Hegel hilft sich sehr leicht über diese Frage der Theilbarkeit, indem er sagt, die Materie ist beides, theilbar und kontinuirlich und zugleich keins von beiden, was keine Antwort ist, aber jetzt fast erwiesen."[156] Dieser Hinweis ist im Lichte unserer Ausführungen über die Dialektik von Kontinuität und Diskontinuität im Sinne der Notwendigkeit einer *dialektischen* Atomismuskonzeption zu deuten. Mochte die Frage der „*Theilbarkeit der Materie*" im 19. Jahrhundert noch „für die Wissenschaft praktisch gleichgültig" sein,[157] so ist sie dies für die moderne Hochenergiephysik heute nicht mehr. Vielmehr kommt es nunmehr auch auf die *philosophische Orientierung* in der physikalischen Forschungsarbeit an. Die kann unseres Erachtens nicht darin bestehen, einseitig nach letzten, elementarsten Bausteinen der Materie zu suchen. *Elementarität und Strukturiertheit* sind zusammenzudenken,[158] der Zusammenhang zwischen den deutlich unterschiedenen, bereits erkannten materiellen Strukturniveaus der physikalischen Bewegungsform der Materie ist weiter aufzuklären. So wie das *Konzept der Bewegungsformen der Materie* nur als *dialektisches* Konzept heuristisch fruchtbar sein kann, muss auch die Unterscheidung *materieller Strukturniveaus innerhalb einer Bewegungsform der Materie* in ihrer *Dialektik* erfasst werden.

154 Noch vor kurzem war der Zusammenhang von Hochenergiephysik und Kosmologie lediglich über formale Analogien herzustellen. Vgl. dazu: H. Hörz/U. Röseberg (Hrsg.), Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis, Berlin 1981, .S. 200 f.
155 Vgl. K. F. Bloch, Die Atomistik bei Hegel und die Atomtheorie der Physiker, Hann 1979.
156 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, Band 26, a. a. O., S. 417
157 Ebenda.
158 Vgl. H. Hörz, Materiestruktur. Dialektischer Materialismus und Elementarteilchenphysik, Berlin 1971, S. 156 ff.

5. Theorien der Selbstorganisation und Evolution

Ende der 60er Jahre konstituierte sich die Forschung zur *Physik der Selbstorganisation*; vor allem in den letzten zehn Jahren nahm sie einen unerhörten Aufschwung. Eine Zeit lang trug das Aufsehen, das sie erregte, geradezu Modecharakter. Nicht zuletzt ergibt sich das daraus, dass die Ergebnisse der Selbstorganisationsforschung von enormem Einfluss auf die weitere Ausgestaltung des Weltbildes der heutigen Wissenschaften sind. H. Haken, der Begründer der Synergetik, einer der Forschungsrichtungen der Selbstorganisation,[159] drückt dies so aus: „Die Natur, insbesondere die Tier- und Pflanzenwelt, überrascht uns immer wieder durch die Fülle ihrer Formen und ihre feingegliederten Strukturen, in denen die einzelnen Teile höchst sinnvoll zusammenwirken. Frühere Generationen sahen diese Strukturen als gottgegeben an. Heute wendet sich das Interesse der Wissenschaft immer mehr der Frage zu, wie diese Strukturen entstehen und welche Kräfte dabei am Werke sind. Während es bis vor kurzem noch schien, als würde die selbständige Entstehung von Strukturen den Prinzipien der Physik widersprechen stellt dieses Buch einen Wendepunkt des Denkens dar ...“[160] I. Prigogine und I. Stengers kennzeichnen die Veränderung im naturwissenschaftlichen Weltbild mit den Worten: „Wohin wir auch blicken, finden wir Entwicklung, Diversifikation und Instabilitäten ... Das Bild der Natur hat sich grundlegend geändert – hin zum Mannigfaltigen, zum Zeitbedingten, zum Komplexen.“[161]

Mit der Selbstorganisationsforschung ist die Physik dabei, als letzte der Grundlagendisziplinen den *Durchbruch zum Entwicklungsdenken* zu vollziehen. Damit erfährt das *evolutionäre Weltbild der Wissenschaften* eine gewisse Abrundung. Hatte es seit der Formulierung des II. Hauptsatzes der Thermodynamik durch Clausius im Jahre 1850 so ausgesehen, als ob die Physik sich im Widerspruch zu den anderen Wissenschaften befand, die den Entwicklungsgedanken aufgenommen hatten, schien es, dass sie, insofern sie sich mit qualitativen Veränderungen beschäftigte, gerade die Zerstörung von Strukturen, die Degradation materieller Objekte und schließlich den Wärmetod des Kosmos behauptete, so ist heute dieser „seit über 100 Jahren offene Grundwiderspruch der Naturwissenschaften zwischen dem II. Hauptsatz der Wärmelehre nach Clausius und dem hohen Grad der Strukturiertheit der uns umgebenden Welt“, insbesondere der krasse Widerspruch zwischen dem II. Hauptsatz und der Darwinschen Evolutionstheorie,[162] aufgelöst.

Von außerordentlicher philosophischer Bedeutung ist der sich hier vollziehende Prozess vor allem im Zusammenhang mit der von Lenin geforderten *Verknüpfung des*

159 „Synergetik“ – vom griech. „synergeia“ (Zusammenwirken).
160 H. Haken, Erfolgsgeheimnisse der Natur, Stuttgart 1981, S. 9.
161 I. Prigogine/I. Stengers, Dialog mit der Natur, München 1981, S. 12/13.
162 W. Ebeling, Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen, Leipzig 1976, S. 7.

Prinzips der materiellen Einheit der Welt mit dem Entwicklungsgedanken.[163] Nicht, dass in idealistischen Überlegungen Entwicklung gänzlich ignoriert oder auf dieser Grundlage etwa keine originären Beiträge zur Dialektik von Entwicklungsvorgängen geleistet würden, aber ein *konsequenter Materialismus* ist an die Durchführung des *Entwicklungsgedankens*, an die Herausarbeitung der Idee der „selbstschöpferischen Kraft der Materie"[164] gebunden. Nur so lässt sich die materielle Welt als „causa sui", aus sich heraus verstehen.

Sehr augenfällig werden philosophische und Weltbilddimension der Herausbildung der Selbstorganisationsforschung, wenn man diesen Prozess in seiner historischen Einordnung betrachtet.[165] Das Entstehen dieser Forschungsrichtung Ende der 60er Jahre geschieht nicht in tabula rasa. Sie hat vielfältige Wurzeln, Voraussetzungen in der vorangegangenen Geschichte der menschlichen Erkenntnis, die philosophisch bis in die Anfänge antiken Denkens zurückreichen. In der Physik- und Mathematikentwicklung erfolgten die ersten Schritte zur Zeit der Herausbildung der klassischen Mechanik. Aus der Störungstheorie in der Himmelsmechanik (Mehrkörperproblem), der Theorie der Gleichgewichtsfiguren rotierender Flüssigkeiten (Erdfigur) und den Untersuchungen zu nichtlinearen Schwingungen und Wellen entwickelte sich die nichtlineare Physik (Mechanik, Elektrotechnik usw.) mit ihrem mathematischen Apparat. Bereits Ende des vorigen Jahrhunderts hat Poincaré die Grundgedanken der Bifurkationstheorie formuliert.

Die sich etablierende Selbstorganisationsforschung erweist sich somit als eine *Syntheseleistung*. Sie geht in direkter oder indirekter Weise (z. B. über den mathematischen Apparat der Lösungsverfahren für nichtlineare Differentialgleichungen) auf die genannten u. a. Vorleistungen zurück. Als Synthese ist sie aber keine einfache Zusammenfügung, sondern eine dialektische Aggregation, die erst durch *neue Ideen* möglich wird. Dazu gehört z. B. das Verständnis der Kooperativität der Prozesse sowie der prinzipiellen Bedeutung von Nichtgleichgewicht und Instabilitäten. Zu ihren Voraussetzungen gehören auch Laborbeobachtungen signifikanter Selbstorganisationsereignisse (z. B. das Laserverhalten, chemische Uhren).

Zwar ist im Grunde genommen alles, was uns umgibt, wie auch wir selbst, das Ergebnis von Selbstorganisationsprozessen. Die Natur dieser Vorgänge ist aber in vielfältiger Weise verdeckt. Viele der uns umgebenden Strukturen sind Ergebnisse menschlicher Tätigkeit, also scheinbar Produkte von „*Fremdorganisation*". Andere resultieren aus biotischen Prozessen. Eine in der Geschichte verbreitete anthropomorphe oder biomorphe Sicht auf sie ist damit gar nicht so unverständlich. Insofern ist mit der Herausbildung der *Selbstorganisationsforschung* ein *Sichtwechsel* verbunden, der aus einem mehrere Jahrtausende währenden Prozess resultiert. Der Mensch hat jetzt bis

163 Vgl. W. I. Lenin, Philosophische Hefte, in: Werke, Bd. 38, Berlin 1964, S. 242.
164 K. Marx/F. Engels, Die heilige Familie, in: MEW, Bd. 2, Berlin 1957, S. 133.
165 Vgl. F. Gelhar, Die selbstschöpferische Kraft der Materie (Diss. B); ders., Auf dem Weg zum evolutionären Weltbild, in: W. Hollitscher, Naturbild und Weltanschauung, Berlin 1988, S. 152-204.

bin zu den physikalischen Aspekten jener Prozesse verstanden, dass die Natur es nicht wie der Mensch macht, wenn sie Neues hervorbringt, sondern dass der Mensch zur Erzeugung neuer Strukturen die natürlichen Gesetze der Selbstorganisation ausnutzt.

Recht deutlich wird dieser Sichtwechsel am Verständnis des Funktionierens der Uhr. Jahrhundertelang dient sie als Demonstrationsbeispiel für ein mechanistisches Verständnis von Bewegungen. Sie ist jedoch ein System, das selbsterregte Schwingungen (Autoschwingungen) ausführt und dabei die dissipierte Energie (oder: abgebaute Exergie[166]) im Rhythmus ihrer Schwingungen aus einer inneren Energiequelle ersetzt.[167]

Mit den Ergebnissen der Selbstorganisationsforschung liegt der philosophischen Analyse ein reichhaltiges Material vor. Vielfältig sind die Anregungen, die es zum Überdenken philosophischer Fragestellungen, zur Präzisierung und weiteren Ausarbeitung der materialistischen Dialektik gibt. Die philosophische Aufarbeitung der Selbstorganisationsforschung hat international gerade begonnen.[168] Bei manchen Aspekten der Selbstorganisationstheorien ist noch nicht klar, inwieweit sie philosophisch verallgemeinerbar sind. Deutlich ist jedoch die große Chance, die mit ihnen zur Weiterentwicklung der philosophischen Theorie gegeben ist. Am deutlichsten wird dies vielleicht, wenn man die Aussagen der *Selbstorganisationstheorien im Kontext der Grundgesetze der materialistisch Dialektik* betrachtet.[169]

Selbstorganisation lässt sich aus physikalischer Sicht folgendermaßen charakterisieren[170]: Sie findet in offenen Systemen in starken Abweichungen vom thermodynamischen Gleichgewicht statt. Die Systeme werden von Energie und Stoffströmen

166 „Exergie" wird international zunehmend zur Bezeichnung der freien, arbeitsfähigen Energie benutzt. Sie ist das Gegenstück zur dissipierten Energie, deren Maß die Entropie darstellt.
167 Vgl. A. A. Andronov/A. A. Witt/S. E. Chaikin, Theorie der Schwingungen, Teil I, Berlin 1965; N. N. Batunin, Dynamičeskaja teorija časov, Moskau 1986.
168 Zu den ersten Arbeiten gehören z. B.: H. Hörz/K.-F. Wessel, Philosophische Entwicklungstheorie, Berlin 1983; F. Gelhar/N. Hager, Physik und Entwicklungsdenken in: DZfPh, 5/1982, S. 622-634; F. Gehlhar, Auf dem Weg zum evolutionären Weltbild, a. a. O.; G. I. Ruzavin, Synergetika i prinzip samodvishenija materii, in: Voprossy filosofii, 8/1984; W. Ebeling, Physikalische Aspekte der qualitativen Sprünge bei Entwicklungsprozessen, in: Wiss. Zeitschr. d. Humboldt-Univ. Berlin, Ges.-sprachw. R., 1/1976, S. 20-28; W. Ebeling/D. Kremp/H. Parthey/H. Ulbricht, Reversibilität und Irreversibilität als physikalisches Problem in philosophischer Sicht, in: Wiss. Zeitschr. d. Wilhelm-Pieck-Univ. RostoCk, Ges.-sprachw. R., 1/1970, S. 127-438; V. N. Michailovsky, Sovremennaja estjestvennaja kartina mira i sinergetičeskij podchod, in: Materialističeskaja dialektika i putji razvitija estjestvoznanija Leningrad 1987; L. G. Antipenko, Princip material'novo edinstva mira i teoria organizacii, in: ebenda.
169 Manche dieser Aspekte wurden bereits im Zusammenhang mit der philosophischen Analyse der Kybernetik, die ja zu den Quellen der Selbstorganisationsforschung gehört, angesprochen. Versuche zur philosophischen Verallgemeinerung auch in Bezug auf die Grundgesetze der Dialektik wurden z. B. in den Arbeiten von G. Klaus unternommen.
170 Vgl. W. Ebeling, Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen, a. a. O., S. 9 f.

durchflossen, wobei freie Energie (Exergie) zugeführt und Entropie abgeführt wird. Infolgedessen können sich stationäre Zustände von hohem und Ordnungsgrad herausbilden. Sind diese gegenüber Fluktuationen stabil, stellen sie die neuen Strukturen dar. Instabile Zustände weisen dagegen ein Aufschaukeln (Amplifikation) der Fluktuationen auf. Der Übergang zu neuen Strukturen erfolgt aus dem „kritischen", d. h. einem Zustand hoher Instabilität heraus. Es sind in der Regel mehrere neue Zustände möglich. Mathematisch wird dies über die Nichtlinearität der Gleichungen erfasst, die mehrere Lösungen zulassen. Die neuen Strukturen können einen höheren Ordnungsgrad, d. h. eine geringere Symmetrie besitzen.

In welcher Beziehung steht nun diese physikalische Sicht auf das Entstehen von Neuem zu den Erkenntnissen der materialistischen Dialektik?

5.1 Zur Dialektik von Quantität und Qualität

F. Engels formuliert im Anschluss an Hegel[171] als dialektisches Grundgesetz „das Gesetz vom Umschlagen von Quantität in Qualität und umgekehrt"[172]. Viele Selbstorganisationseffekte demonstrieren anschaulich das „und umgekehrt", d. h. den Umschlag von Qualität in Quantität. Die neue Qualität weist ein verändertes quantitatives Verhalten auf.

So kommt es beim Übergang vom Lampen- zum Laserregime, der mit dem Überschreiten eines Schwellenwertes der Anregungsenergie für entsprechend konstruierte „Lampen" erfolgt, bei wachsender Anregung zu einer verstärkten Strahlungsleistung (emittierten Lichtmenge). Ganz analog verhält es sich mit der transportierten Wärmemenge beim Übergang von der Wärmeleitung zur Konvektion bei den Benard-Strukturen. [173] (Vgl. *Abb. 5*)

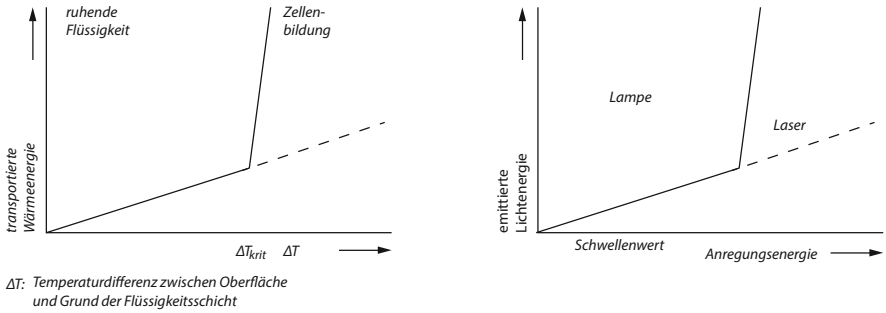

Abb. 5: Transportierte Wärmemenge beim Übergang von der Wärmeleitung zur Konvektion bei Benard-Strukturen

171 Vgl. z. B. G. W. F. Hegel, Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften, Berlin 1975, S. 121.
172 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abt., Bd. 26, a. a. O., S. 355 f.
173 Vgl. W. Ebeling/R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, Berlin 1982, S. 44, 52.

Schwellenwert der Anregungsenergie und T_{krit} entsprechen dem *Hegelschen Maß*. Wie die angeführten Sachverhalte vor allem eine Bestätigung eines bekannten Aspektes der Qualitäts-Quantität-Dialektik darstellen, so ist auch das anschließend zu besprechende Beispiel der Phasenübergänge ein Beitrag zu der seit langem geführten Diskussion um den Charakter des *Sprunges* von einer Qualität zur anderen. Dagegen bringen die weiteren in der Selbstorganisationsforschung aufgedeckten Zusammenhänge neue Gesichtspunkte für philosophische Verallgemeinerung.

Gemäß der traditionellen Darstellung ist das *Maß* lediglich ein quantitativer Wert (eine Größe), bei dem die vorangegangene in die neue Qualität umschlägt. Auf die Unzulässigkeit dieser Vereinfachung ist bereits hingewiesen worden, als in philosophischer Verallgemeinerung der biologischen Evolutionstheorie und der statistischen Physik die statistische Gesetzeskonzeption entwickelt, Vorstellungen vom Automatismus der Entwicklung zurückgewiesen und der Gedanke der Existenz von Möglichkeitsfeldern herausgearbeitet wurde.[174] Die Selbstorganisationstheorien zeigen nun, dass das Maß ein relativ breites Gebiet sein kann, dass es auf jeden Fall einen instabilen Zustand des sich verändernden Systems mit einem Möglichkeitsfeld darstellt, und dass der Zufall in Gestalt von Fluktuationen eine wesentliche Rolle bei der Realisierung einer der durch das Feld gegebenen Möglichkeiten spielt.

Anfang der 70er Jahre wurde eine Analogie zwischen qualitativen Übergängen in der Selbstorganisationstheorie und den Phasenübergängen in der Gleichgewichtsthermodynamik entdeckt (Haken, Schlögl).[175] Man unterscheidet *Phasenübergänge 1. und* 2. *Art*. Diese Klassifizierung und die genannte Analogie lassen sich durch einen Vergleich von Beispielen aus der biotischen Evolution und dem Übergang vom Lampen- zum Laserregime bzw. dem Übergang von Wasser zu Dampf bei sich veränderndem Volumen veranschaulichen.[176]

Eine biotische Spezies kann durch das Eindringen einer anderen Art, die das von ihr besetzte Gebiet (ökologische Nische) zu nutzen vermag, völlig verdrängt werden. Während einer Übergangsphase der Koexistenz „steigt der Selektionswert der neuen Art steil an.". Hierbei ist der alte Zustand vom neuen durch ein endliches Übergangsgebiet getrennt, wobei in diesem die beiden Arten voneinander unterscheidbar sind. Die Symmetrie der Nutzung der Nische durch die Arten muss nicht gebrochen werden. Ganz analog ist der thermodynamische Phasenübergang 1. Art, z. B. vom Wasser zum Dampf.

Eine Analogie zum Phasenübergang 2. Art lässt sich in Prozessen der Spezialisierung (Differenzierung, Arbeitsteilung) aufweisen: Eine Art kann zwei ökologische Nischen nutzen. Im Verlaufe der Evolution kann sich ein Teil der Art auf die eine, der andere

174 H. Hörz, Zufall – eine philosophische Untersuchung, Berlin 1980, S. 151. [Siehe auch: http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/philosophie.html]; H. Hörz/K.-F. Wessel, Philosophische Entwicklungstheorie, a. a. O., S. 110 ff.
175 Vgl. W. Ebeling/R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, a. a. O., S. 30 f.
176 Vgl. ebenda, S. 31 f.

Teil auf die andere Nische spezialisieren. Der Übergang erfolgt plötzlich – mit dem Aufhören der Bildung gemischter Nachkommen. Der Übergangspunkt bedeutet ein Zusammenfallen des früheren und des neuen Zustands; die Symmetrie der Nischennutzung wird in ihm gebrochen. Dieser Übergang ist analog dem kinetischen Übergang 2. Art, wie er z. B. beim Umschlagen in das Laser-Verhalten erfolgt. (Vgl. *Abb. 6.1 und 6.2*)

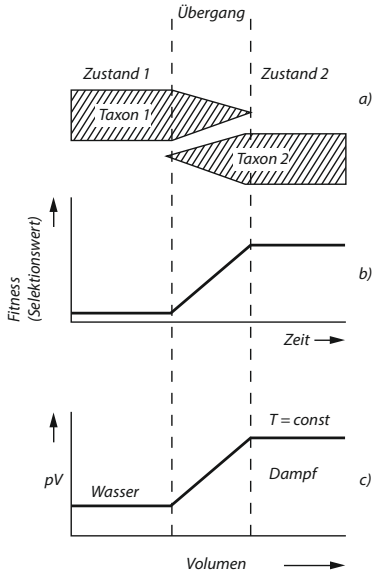

Abb. 6.1: Qualitative Übergänge vom Typ des Phasenübergangs 1. Art: Verdrängen einer Art durch Selektion: (a), (b) und Wasser-Dampf-Übergang (c)

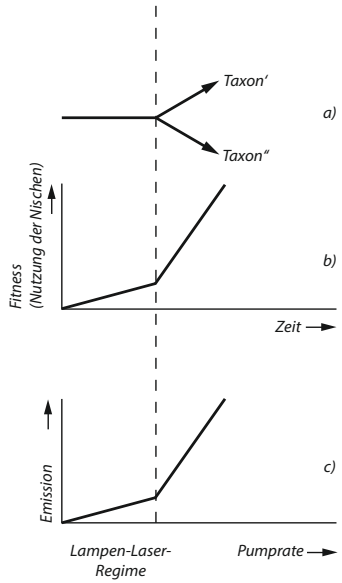

Abb. 6.2: Qualitative Umschläge vom Typ des Phasenübergangs 2. Art: Differenzierung einer Art (a), (b) und Laserverhalten (c)

Phasenübergänge mit Symmetriebrüchen spielen auch in der kosmischen Evolution eine herausragende Rolle.

Gemäß der Selbstorganisationstheorien repräsentieren die *Übergangsgebiete oder -punkte* Zustände hoher Instabilität. Gerade deshalb erfolgt aus ihnen heraus bei weiteren Veränderungen der Quantität (bestimmter Parameter wie des Volumens, der Temperatur, des Selektionswertes) der Übergang zu neuen Zuständen oder Qualitäten. In der Regel bedeutet diese Instabilität eine Vielzahl von möglichen neuen Zuständen. Durch die Vorgeschichte des Systems ist nur dieses Möglichkeitsfeld, die Bifurkation (Verzweigung) bestimmt. Geringfügige, zufällige Schwankungen unterschiedlichster Art (Fluktuationen) können die Realisierung einer der Möglichkeiten auslösen. Nicht für die Veränderung einzelner Systeme, aber für die Evolution von Populationen gibt es die Realisierung mehrerer Möglichkeiten. Das zeigen z. B. Evolutionsbäume von Lebewesen oder Sprachen.

In den Selbstorganisationstheorien ist eine *neue Struktur* (*die neue Qualität*) nicht einfach einer der vom System eingenommenen Verzweigungsäste (Möglichkeiten) der Bifurkation. Es gibt drei prinzipiell unterschiedliche Typen von Zuständen, in die ein instabiles System durch Fluktuationen getrieben werden kann. Es kann in einen stationären, d. h. zeitunabhängigen Zustand geraten. Ist dieser nicht stabil, dann verlässt es ihn wieder bei der geringsten Störung. Ist der stationäre Zustand jedoch stabil, dann verbleibt das System in ihm. Er stellt die neue Struktur dar. Die dritte Möglichkeit besteht darin, dass das System keinen stationären Zustand erreicht. Es wird zerstört.

Nicht alles an den voranstehenden Ausführungen ist bereits auf die Ebene der philosophischen Verallgemeinerung gebracht. Es wird aber bereits deutlich, dass das Hegelsche Maß durch die Selbstorganisationstheorien ein neues, vielgestaltiges Gesicht erhält.

Auf einen letzten Aspekt im Zusammenhang mit der Dialektik von Quantität und Qualität sei hingewiesen. Bei Hegel ist der *quantitative Progress* etwas Äußerliches, Gleichgültiges. Quantitative Veränderungen, Wachstumsprozesse innerhalb einer Qualität haben dagegen in den letzten Jahrzehnten zunehmendes Interesse gefunden, z. B. im Zusammenhang mit ökologischen Bevölkerungs- oder Ressourcenproblemen. Bereits F. Engels interessierte sich für Wachstumsprobleme; so hatte er das exponentielle Wachstum (menschlichen Wissens) im Blick. Man weiß heute, dass dieses nur eine – und zwar eine der einfachsten – Formen des Wachstums ist. Ein interessantes Modell, das die innere Strukturiertheit der quantitativen Veränderungen im Rahmen einer Qualität – „von Maß zu Maß" – beschreibt, ist das *Evolon-Konzept* von W. Mende. „Ein EVOLON beschreibt in hochaggregierter Form den Prozess des Übergangs eines Wachstumsindikators von einem stationären Zustand zum nächsten als Folge einer quantitativen Anhäufung und als vorbereitenden Prozess für eine nachfolgende qualitative Veränderung."[177]

Im Rahmen der quantitativen Veränderungen innerhalb einer Qualität werden acht Phasen unterschieden: nach dem Durchbruch durch das Maß (1) eine extensive Vorbereitung (2) und die darauffolgende (exponentielle) Expansion (3). Es folgt der Übergang (4) zur Reifephase (5), dann die Sättigung (6); nach der Klimax (7) schließlich das Instabilwerden und ein neuer Durchbruch (8). (Vgl. *Abb. 7*)[178]

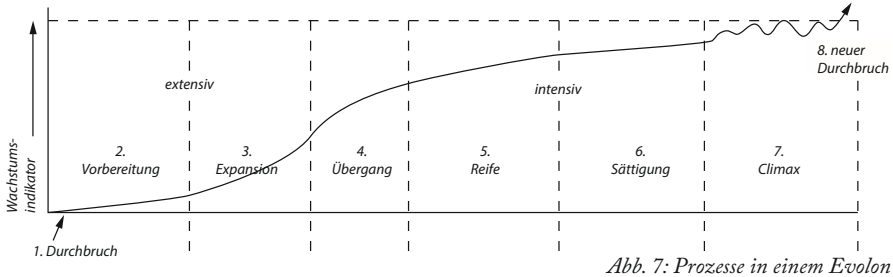

Abb. 7: Prozesse in einem Evolon

177 M. Peschel/W. Mende, Leben wir in einer Volterra-Welt?, Berlin 1983, S. 44.
178 Lotka-Volterra-Approach to Cooperation and Competition in: Dynamic Systems, hg. v. W. Ebeling und M. Peschel, Berlin 1985, S. 270 (vereinfachte Wiedergabe).

5.2 Selbstorganisation und dialektischer Widerspruch

Eine der Denkbarrieren für das Verständnis von Strukturbildungsprozessen bestand darin, dass man versuchte, sich das *Entstehen von Neuem* aus dem Zustand der Ruhe, Stabilität und Abgeschlossenheit heraus vorzustellen. Die Selbstorganisationsforschung hat gezeigt, dass die Herausbildung neuartiger Strukturen nur in offenen Systemen, die sich fernab vom Gleichgewicht befinden, möglich ist. Strukturbildung im Systeminneren setzt somit eine Strukturiertheit der Umgebung bzw. ihren asymmetrischen Einfluss auf das System voraus. Durch Energie und möglicherweise auch Stoffströme wird es aus dem Gleichgewicht getrieben. Dabei wird ihm Entropie, entwertete Energie, entzogen bzw. Exergie zugeführt. Die Gesamtentropiebilanz für Selbstorganisationssysteme muss negativ sein. Zum Beispiel könnte ohne den ständigen Zustrom von arbeitsfähiger Energie aus der Sonnenstrahlung irdisches Leben sich nicht erhalten und entwickeln. Selbstverständlich bedarf es innerer Voraussetzungen, damit das System sich unter diesen äußeren Bedingungen neu strukturieren kann.

Die Ergebnisse der Selbstorganisationsforschung machen somit darauf aufmerksam, dass es eine intensive dialektische *Wechselbeziehung von inneren und äußeren Bedingungen und Prozessen* gibt. Eine verbreitete Tendenz, das Äußere als unwesentlich anzusehen, Wesen und Inneres gleichzusetzen, versperrt die Sicht für die richtigen Verhältnisse. Ein Beispiel hierfür ist die übertriebene Ablehnung der Rolle von kosmischen Katastrophen oder allgemein von kosmischen Einflüssen auf die Entwicklung auf der Erde.[179] In gewissem Sinne sind wir Menschen „Kinder von Katastrophen". Ohne Urknall, Sternexplosionen, Kollapse interstellarer Wolken zu Sternen, Meteoritenbombardement der Erde in ihrer Frühgeschichte, das Aussterben der Sauriere (ob durch irdische oder kosmische Prozesse verursacht) usw. gäbe es uns nicht. Entscheidend jedoch ist, dass *Selbststrukturierungsprozesse* sich *nur in einem äußeren Energiegefälle* abspielen können, dass sie ihre „Antriebsenergie" von diesem erhalten. Auch eine Uhr wird schließlich „von außen" aufgezogen! Somit macht uns die Selbstorganisationsforschung darauf aufmerksam, daß im Rahmen der philosophischen Theorie die *Dialektik von Innerem und Äußerem* oder von *inneren und äußeren Widersprüchen* weiter auszuarbeiten ist.

5.3 Selbstorganisation und Evolution

Evolution kann man als eine Folge auseinander hervorgehender Selbstorganisationsprozesse auffassen.[180] *Selbstorganisation* ist damit der Elementarakt der Evolution.[181] Diese Auffassung steht bereits gegen die Vorstellung einer automatischen Abfolge

179 Vgl. F. Gelhar, Kometendeutung und Auseinandersetzung um das Weltbild, in: DZfPh, 3/1986, S. 218-227.
180 Vgl. W. Ebeling/R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, a. a. O., S. 11.
181 Vgl. ebenda.

bestimmter Ereignisse, denn in den Selbstorganisationsprozessen ist das Hervorgehen aus Möglichkeitsfeldern, das Wechselspiel von Zufall und Notwendigkeit enthalten.

An dieser Stelle ist die Feststellung notwendig, dass es bislang keine physikalische Theorie der Evolution gibt. Wenn Ebeling und Feistel davon sprechen, dass sich die Physik der Selbstorganisation schon klar abzeichne, es für die *Physik der Evolutionsproesse* heute jedoch noch keine vorgezeichneten Linien gäbe und das Hauptanliegen ihrer Arbeit drin bestehe, die Brücke zu schlagen von der Physik der Selbstorganisation zu der der Evolution,[182] so ist dabei zu berücksichtigen, dass sie in erster Linie die physikalischen Grundlagen der biotischen Evolution im Auge haben. Natürlich müssen in ihren oder beispielsweise auch in den Überlegungen von M. Eigen zum Hyperzyklus allgemeine Aspekte des physikalischen Evolutionsverständnisses enthalten sein. Dies ändert jedoch nicht grundsätzlich die Einschätzung der gegenwärtigen Situation, dass wir noch *vor* der Schaffung einer physikalischen Evolutionstheorie stehen. Philosophische Erörterungen beziehen sich also auf vorhandene oder mögliche Ansätze, d. h. sie können eine *heuristische* Rolle bei der Ausarbeitung einer derartigen Theorie spielen.

Dabei operieren sie nicht im luftleeren Raum. Gemäß der oben charakterisierten Beziehung von Selbstorganisation und Evolution lassen sich Annahmen über die Evolution aus der Kenntnis ihrer Elementarakte gewinnen. Zudem gibt es mehr oder weniger traditionelle Fragestellungen und Einsichten aus anderen Wissenschaftsdisziplinen, die es mit einem evolutionären Gegenstand zu tun haben, Fragestellungen und Einsichten, die ihrer Natur nach physikalisch oder zumindest teilweise physikalisch sind. Sie liefern in Gestalt von Astrophysik, Geophysik, Biophysik usw. somit verallgemeinerungsfähiges Material für die Ausarbeitung einer physikalischen Evolutionstheorie. Als heuristisch wirksam könnten sich auch Fragestellungen oder Betrachtungsweisen aus der Geschichte des philosophischen Denkens erweisen. An einem Beispiel soll das deutlich gemacht werden.

Ebeling verweist darauf, dass für die Selbstorganisation sehr spezifische Bedingungen realisiert sein müssen.[183] Es liegt auf der Hand, dass dies für die Einordnung verschiedener Selbstorganisationsprozesse in eine Evolutionsfolge in noch stärkerem Maße zutrifft. Was *„zwingt" die Selbstorganisationsakte in den Evolutionsprozess?*

Mit dieser Frage hat sich bereits Aristoteles in interessanter Weise beschäftigt. Die Philosophen vor ihm hatten eine Vielzahl von Ideen über Mechanismen des Entstehens und Vergehens entwickelt. Aristoteles systematisierte und ergänzte diese. Aber er war sich darüber im klaren, dass auch dann, wenn jedem einzelnen Akt des Entstehens und Vergehens ein natürlicher Mechanismus zugrunde liegt, die Gesamtheit dieser Akte noch ein Chaos bilden kann. Daher erklärte er: Wenn es eine Ordnung, eine allgemeine Notwendigkeit oder Regelmäßigkeit in den einander ablösenden Prozes-

182 Vgl. ebenda, S. 12.
183 Vgl. W. Ebeling, Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen, a. a. O., S. 28.

sen geben soll, dann muss etwas sein, von dem diese Regelmäßigkeit ausgeht. Dieses müsse selbst ein Beständiges, Regelmäßiges sein. Aristoteles sah, einer Idee Platos folgend, jenes Beständige in dem „Umschwung", der ewigen, harmonischen Bewegung der Himmelssphären. Diese war ihm das Invariante, das Unveränderliche, das die Gesetzmäßigkeit des irdischen (sublunaren) Weltprozesses garantiert. Die Zyklizität dieses Prozesses fasste er dadurch, dass er nach dem Vorbild der Sonnenbewegung, die den ständig wiederkehrenden Turnus der Jahreszeiten bedingt, einen regelmäßigen Wechsel postulierte, der den Kreisbewegungen der Sphären aufgeprägt ist.[184]

Zyklizität ist ein wesentlicher Aspekt von Entwicklungsprozessen.[185] Rhythmus, Periodizität begegnet uns überall, ob es sich um die Bewegung der Elektronenhülle der Atome, die Bewegungen im Sonnensystem oder in der Galaxis, um Lebensprozesse usw. handelt. Das, worauf uns die Selbstorganisationsforschung mit Nachdruck hinweist, ist der Sachverhalt, dass äußere und innere Zyklen in gesetzmäßiger Beziehung stehen.

Möglicherweise besteht hier die Chance, eine vertiefte Sicht des dritten Grundgesetzes der materialistischen Dialektik (*Negation der Negation*) zu gewinnen. Der Charakter der Wechselbeziehungen von inneren und äußeren Zyklen oder allgemein von Innerem und Äußerem ist offenbar eng mit dem Problem der Höherentwicklung verbunden. In dem Maße, wie dies zutrifft, lassen sich die vielfältigen Vorschläge für *Entwicklungskriterien* aus den intensiven philosophischen Diskussionen der letzten Jahre[186] in Anschlag bringen. Es sei doch noch einmal betont, dass es die physikalische Evolutionstheorie noch nicht gibt. Daher wäre es müßig, darüber befinden zu wollen, welche dialektischen Aspekte sie enthält und von welchen sie abstrahiert. Allerdings lässt sich für einzelne physikalisch untersuchte Prozesse durchaus das Wirken der Negation der Negation nachweisen. So ist z. B. zu Beginn der Expansion unser Kosmos mit einer gewaltigen Menge an Exergie „aufgeladen". Die Expansion bedeutet einen Prozess, in dem die Energie abgebaut, die Energie entwertet wird. Auf Grund bestimmter physikalischer Mechanismen (siehe VI. 1.) wird jedoch ein Teil der Exergie in Differenzierungsprozesse umgesetzt; ein anderer Teil wird „eingefroren" (z. B. in den primordialen Atomkernen) und unter veränderten Bedingungen in einer späteren Epoche wieder für weitere Differenzierungsprozesse, die u. a. zum Menschen führen, freigesetzt.

184 Vgl. Aristoteles, Über das Himmelsgebäude. Entstehen und Vergehen, hg. v. V. C. Prandtl, Leipzig 1935, S. 475.

185 Vgl. H. Hörz, Zyklizität als philosophisches Problem, in: Zeitschr. d. geol. Wiss., 1/1984, S. 5-15.

186 H. Hörz, Dialektisch-materialistische Entwicklungstheorie und die Struktur von Entwicklungsgesetzen Berlin 1975; P. Franz, Widerspiegelung, Information und Entwicklung (Diss. B), Berlin 1981; G. Pawelzig, Dialektik der Entwicklung objektiver Systeme, Berlin 1970; F. Gelhar, Kosmos und Entwicklung, Entwicklungskriterien in: Astronomie und Raumfahrt, 6/1980, 175 f.

Es gibt einen interessanten Versuch, die Natur der „progressierenden Evolution" zu erklären. P. A. Corning hat eine „Hypothese des Synergismus" entworfen, die zwar unabhängig von der Ausarbeitung der Synergetik-Konzeption durch Haken erfolgte, mit dieser jedoch im Einklang ist. Während es Haken um die Erklärung der kooperativen Effekte in der Strukturbildung ging, wollte Corning das *Progressieren der Kooperativität* erklären: „Warum müssen die Fluktuationen zu größerer struktureller Kompliziertheit und nicht zur Zersetzung, Vereinfachung oder gar zum Kollaps führen?"[187]

Nach Corning ergibt sich die Antwort auf diese Frage aus der Struktur des Evolutionsprozesses selbst: Auf jeder seiner Etappen treten in der vorangegangenen Geschichte unabhängig voneinander entstandene Elemente in Wechselbeziehungen. Resultat dessen sind neue adaptive Vorzüge für die nunmehr als System organisierten Elemente. Die Folge ist die Übertragung der evolutiven Selektion auf die nächste Strukturebene. In der mehrfachen Wiederholung führt dieser Prozess zur Herausbildung hierarchisch strukturierter Systeme.[188]

Natürlich muss der Ansatz von Corning noch weiter analysiert werden. Hier soll zur Dialektik von Innerem und Äußerem zurückgekehrt werden. Während es für Systeme mit einem *niedrigerem Entwicklungsgrad* eine Konsequenz der prinzipiellen Offenheit sich selbst organisierender Systeme ist, dass durch äußere Prozesse ein Rahmenmechanismus vorgegeben sein muss, damit der Verlauf der inneren Strukturierung gerichtet ist, weisen *höherentwickelte Systeme* eine größere Autonomie gegenüber den Prozessen ihrer Umgebung auf. Innere Determinanten, Triebkräfte und Zyklen gewinnen an Bedeutung. Aber auch für diese Systeme gilt, dass das „Münchhausen-Verfahren", sich selbst am Zopf aus dem Sumpf zu ziehen, nicht realisierbar ist. Hierin besteht der Sinn der lapidaren Feststellung, dass nur Unterschiede Unterschiede hervorrufen können.[189] Es geht dabei nicht um ein Schachtelungsdenken („Matrjoschka-Prinzip"), etwa im Sinne von Hegels „schlechter Unendlichkeit", nicht um den deus ex machina des antiken Theaters, sondern um die Konsequenz, aus der die Erkenntnis der Offenheit von sich selbst strukturierenden und sich entwickelnden Systemen zu ziehen ist.

In der *Geologie* z. B. hat diese Problematik in der Auseinandersetzung um die *exogenen* und *endogenen Ursachen geologischer Prozesse* eine große Rolle gespielt. Das äußerte sich im Streit zwischen Vulkanismus und Neptunismus, in gewissem Sinne auch in der Diskussion zwischen Aktualisten und Katastrophisten. Bereits recht früh stellten einige Forscher fest, dass diese verschiedenen Richtungen einseitige

187 P. A. Corning, The synergism hypotheses: A theory of progressive evolution, New York 1983, zit. nach: A. S. Michajlov; Filosofsko-metodologičeski aspekty razvitija sinergetiki i teorii samoorganizacii, in: Logika, metodologija i filosofija nauki, vypusk 2, Moskau 1987, S. 135.
188 Ebenda, S. 135 f.
189 Vgl. I. Prigogine/I. Stengers, Dialog mit der Natur, a. a. O., S. 119.

Betrachtungsweisen darstellen, dass in der dialektischen Synthese der Standpunkte die richtige Sicht auf die Prozesse zu suchen sei.[190]

Im Grunde genommen dauert das Ringen um das Verständnis des Wechselspiels von inneren und äußeren Ursachen in der heutigen Geologie an. Als Beispiel sei eine Stellungnahme des sowjetischen Geologen B. Litschkow aus einer Arbeit von 1960 angeführt „... In unserem Fall geht es doch nicht um die innere Energie der Erde an sich. Sie wird von niemanden bestritten, wie auch die inneren Prozesse im Organismus von niemanden bestritten werden. Es geht um die inneren Ursachen der Entwicklung, darum, ob man sie als ausschlaggebend für die Evolution des Planetenkörpers ansehen kann. Diese Frage muß negativ beantwortet werden, denn die innere Energie kann ständig nur bei Deformation des Systems durch das Zusammenwirken der äußeren und der inneren Kräfte ununterbrochen in Erscheinung treten ... Anders gesprochen, muß, ohne die inneren Prozesse im Körper der Erde auch nur im geringsten abzustreiten, gesagt werden, daß man sowohl aus philosophischer Sicht als auch aus der Sicht der Physik nach den ausschlaggebenden Anfangsveränderungen der Erdrinde nicht im Inneren der Erde oder gar aus unerklärlichem Grund in ihren unzugänglichen Tiefen zu suchen hat ... Im Gegensatz zur Mehrzahl der heutigen Geologen, die die Frage der Erddrehung als weit entfernt von den Fragen der Geotektogenese und der Gebirgsbildung ansehen, nehmen wir mit Bestimmtheit an, daß die Gebirgsbildung direkte Leistung und Folge der Planetendrehung ist und es sie ohne diese nicht geben würde."[191] Auch – und gerade – weil Litschkow sich auf die „philosophische Sicht" bezieht, sei hervorgehoben, dass sein Standpunkt allein als Beleg für die *Auseinandersetzung* um das Wechselspiel von inneren und äußeren Prozessen zitiert wurde, nicht aber, um ihn mit philosophischen Argumenten zu sanktionieren oder zu favorisieren.

Ähnliche Auseinandersetzungen gab und gibt es um die *Entstehung des Lebens auf der Erde*. Ob nun die chemischen Grundlagen des Lebens aus dem Kosmos kommen oder auf der Erde selbst entstanden sind („abiotische Entstehung"), eines ist dabei sicher: Die Entwicklung der Biosphäre konnte *nur in einem offenen System*, in dem von der Sonne ausgehenden Exergiestrom vor sich gehen.[192] Hinsichtlich der gesellschaftlichen Entwicklung machen einige heutige globale Probleme (ökologische und Ressourcenproblematik) in dramatischer Weise darauf aufmerksam, dass gerade bei Zunahme des Wirkens der inneren Determinanten der Entwicklung die Anforderungen an die äußeren Bedingungen wachsen.

Physikalisch konzentriert sich diese Problematik auf die *Herkunft der Struktur- oder Exergiereserven für Selbstorganisations- und Evolutionsprozesse*. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass Exergiequellen räumlich im Inneren eines Selbstorganisati-

190 Vgl. A. Hallam, Great geological controversies, Oxford 1983, Zit. nach der russischen Übersetzung: Velikie geologičeskie spory, Moskva 1985, S. 72.
191 R. Balandin, Boris Litschkov, in: Wissenschaft in der UdSSR, 2/1987, S. 95.
192 Vgl. W. Ebeling/R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, a. a. O., S. 67-70.

onssystems existieren können (Uhr, Temperaturgefälle vom Erdinneren nach außen). Dem II. Hauptsatz der Thermodynamik aber widerspricht die Annahme, dass Exergie in einem abgeschlossenen System erzeugt werden könnte. Letztlich stammt auch die im Inneren eines Systems gespeicherte Exergie aus äußeren oder der Existenz des Systems vorangegangenen Prozessen. So rührt ein Teil der inneren Exergie der Erde von der durch die Zusammenballung des Planeten verwandelten potentiellen Gravitationsenergie her. Auch in der kosmischen Evolution spielt diese Problematik eine entscheidende Rolle.

Im Rahmen unserer Betrachtungen konnten nur einige Aspekte der Selbstorganisationsforschung in ihrer Bedeutung für die Dialektiktheorie angesprochen werden. Bereits sie aber machen deutlich, dass mit dieser relativ neuen Forschungsrichtung ein wichtiges Feld für die philosophische Analyse vorliegt.

Kapitel IV: Dialektik der chemischen Erkenntnis

1. Objekte, Theorien und Methoden der Chemie

In historischen Verlauf erfuhr der Umfang der von der Chemie[1] untersuchten Objekte eine solche Ausweitung, dass heute mit Ausnahme von „atomaren Bausteinen" prinzipiell alle materiellen Objekte in der Natur – die der Erde und des Universums – zum aktuellen oder potentiellen *Untersuchungsobjekt* dieser Wissenschaft geworden sind. Ein Vergleich mit den Untersuchungsobjekten anderer Naturwissenschaften zeigt sofort viele Überschneidungen. Die spezifische Seite einer Naturwissenschaft ist also nicht dadurch bestimmt, mit welchen materiellen Objekten sie sich befasst. Eine Naturwissenschaft ist vielmehr dadurch charakterisiert, welchen *Gegenstand* sie hat, d. h. auf welche gesetzmäßigen Beziehungen der Naturobjekte die Forschung gerichtet ist. In Einheit damit existiert ein historisch bedingtes Methoden- und theoretisches Aussagengefüge als Ergebnis und Ausgangspunkt für die weitere Forschung und die gesellschaftliche Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse. Das Verständnis des Gesamtprozesses, einschließlich der gegenwärtig diskutierten Probleme, erfordert die Analyse wesentlicher historisch-logischer Entwicklungsstufen.

Zur Dialektik der chemischen Erkenntnis gehört, dass sich die Formierung ihres Gegenstandes auf mehrere Quellen stützte: Bis ins 18. Jahrhundert hinein existierten auf der einen Seite das chemische Prozesse nutzende *Handwerk* (Seifensieder, Glasmacher, Farbenhersteller, Metallerzeuger u. a. m.) mit seinem beträchtlichen Erfahrungswissen und auf der anderen Seite die *Alchimisten*, die mit Hilfe von Probierkunst und naturphilosophischen Überlegungen sich ein Bild über Umwandlungsprozesse in der Natur zu verschaffen suchten.[2] Diese Quellen spiegeln sich heute – dialektisch negiert – in den 1751 von J. G. Wallerius geprägten Begriffen der „reinen", „angewandten Chemie".[3]

Alchimie verband Religion, Philosophie und rationale Momente miteinander[4]. Es hieße wesentliche Inhalte der Alchimie außer acht lassen, würde man ihren Gegenstand als teils mystisch verklärte, teils mit rationalen Momenten durchsetzte Lehre von der Umwandlung der Stoffe bestimmen. Damit wäre in ahistorischer Weise der Gegenstand der wissenschaftlichen Chemie schon in diese Entwicklungsphase projiziert, und Alchimie würde allein daran gemessen, inwiefern sie sich bereits der Chemie

1 Die gesellschaftliche Realisierung und Nutzung chemischer Stoffwandlungen und ihrer Ergebnisse sind kein Gegenstand der folgenden Ausführungen. Vgl. dazu: I. Strube/R. Stolz/H. Remane, Geschichte der Chemie, Berlin 1986.
2 Vgl. J. D. Bernal, Sozialgeschichte der Wissenschaften, Hamburg 1970 (4 Bde.), Bd. 2, S. 362.
3 Ch. Meinel, „... die Chymie anwendbarer und gemeinnütziger zu machen" – Wissenschaftlicher Orientierungswandel in der Chemie des 18. Jahrhunderts, in: Angewandte Chemie, 5/1984, S. 328.
4 Vgl. U. Strube/R. Stolz/H. Remane, Geschichte der Chemie, a. a. O., S. 27 f.; M. Heidelberger/S. Thiessen, Natur und Erfahrung. Von der mittelalterlichen zur neuzeitlichen Naturwissenschaft, Reinbek bei Hamburg 1981, S. 144 f.

genähert hat. Alchimie ist aber auch als relativ eigenständige, spezifisch ausgeprägte naturphilosophische Lehre anzusehen.[5]

Den naturphilosophischen Ausgangspunkt zur Erklärung und gezielten Veränderung der Natur bildeten die Vorstellungen der Alchimisten über eine eigenschaftslose prima materia[6], in die die gewünschten Eigenschaften von Stoffen einzupflanzen seien. Diese Eigenschaften wurden nicht als inhärenter Bestandteil des Substrats gedacht, sondern sollten als weitere Komponenten hinzukommen, um auf diesem Wege die angestrebten Stoffe zu realisieren. Objekt (Körper) und Beziehungen (Eigenschaften) bildeten in den Vorstellungen der Alchimisten noch keine Einheit; die Alchimisten wollten diese Einheit erst mit ihren Manipulationen realisieren. Am bekanntesten geworden sind die Versuche zur Transmutation unedler Metalle zu edleren, bei denen schließlich Gold entstehen sollte.

Der Dialektik dieses Abschnitts der Erkenntnisentwicklung nicht gerecht zu werden, würden all solche praktischen und theoretischen Versuche nur als Fehlentwicklung gedeutet werden. Zum einen trugen die Alchimisten wesentlich zur Erweiterung des Wissens über Stoffe und ihre Eigenschaften bei; zum anderen entwickelten sie Methoden für chemische Veränderungen, die vom Prinzip her noch heute genutzt werden (Destillation, Sublimation u. a.).[7] Die naturphilosophischen Voraussetzungen und Teile des Wissens aus praktizierten Stoffumwandlungen bedurften der dialektischen Negation. Unter Einbeziehung der Kenntnisse aus dem handwerklich-chemischen Bereich konnte auf dieser Grundlage ein neuer Zyklus der Erkenntnisentwicklung in Gestalt der sich herausbildenden wissenschaftlichen Chemie beginnen.

Die Trennlinie zwischen Alchimie und der ihr historisch folgenden wissenschaftlichen Chemie ist weniger durch die Menge des adäquat widergespiegelten Wissens über chemische Objekte und Prozesse bestimmt als vielmehr durch die neue Gegenstandsbestimmung, durch die Art und Weise, das Wesen objektiver Beziehungen zu erforschen. Dazu mussten erstens die naturphilosophischen Vorstellungen über den vom Menschen zu beschleunigenden Kreislauf der Elemente (Metalle) vom Niederen zum Höheren und zweitens die gedachte Spaltung von Substrat und Eigenschaften überwunden werden. Das erfolgte historisch vor allem im Prozess des Ringens um eine Antwort auf die Frage nach dem Wesen des Verbrennungsvorgangs. Dabei wurden erstmals auf dem Wege zur Herausbildung der Chemie das Substrat, die ihm innewohnenden Eigenschaften und deren Beziehungen als bewusstseinsunabhängige Seiten der Natur „zusammengedacht".

Für diesen Schritt bildeten die Änderungen in den weltanschaulichen Grundlagen der Erkenntnis die wichtigste Voraussetzung. Nicht mehr den aus der idealistischen Traditionslinie der antiken Naturphilosophie, der Scholastik, der Religion oder mit-

5 Vgl. D. Geiseler, Chemie und Alchemie, in: Philosophia Naturalis, 1978, S. 221 f.
6 erste Materie.
7 Vgl. H. W. Prinzler, SUMMA DESTILLATLONIS, Leipzig 1983.

telalterlichen Mystik entstammenden Ideen wurde das Primat allen natürlichen Seins und seiner Veränderungen zugeschrieben, sondern den Objekten selbst mit den ihnen innewohnenden Eigenschaften und Beziehungen. Im 17. und in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts ging es um die *Erforschung der gesetzmäßigen Beziehungen zwischen der elementaren Zusammensetzung der Stoffe und ihren chemischen Eigenschaften.*

Die Herausbildung eines neuen Teilzyklus der Entwicklung des Gegenstandes und des theoretischen Aussagesystems der Chemie erfolgte Anfang des 19. Jahrhunderts mit der Ausarbeitung und Nutzung der wissenschaftlichen Atomhypothese für die Erklärung chemischer Erscheinungen. Ein visuell zugänglicher elementarer Stoff wie beispielsweise Kohlenstoff wurde nun als arithmetisches Vielfaches des einzelnen nicht sichtbaren Kohlenstoffatoms interpretiert. In Verbindung mit dem Molekülkonzept wurde eine Substanz (Makromenge) aus vielen Molekeln bestehend betrachtet. Ein mechanisch zusammengesetztes Vielfaches der einzeln nicht beobachteten Mikroteilchen entsprach dem makroskopisch Beobachtbaren. – Damit wurde zwar der Keim einer veränderten Gegenstandsauffassung in der Chemie gelegt, vorerst jedoch noch nicht die dialektische Widersprüchlichkeit der stofflich-makroskopischen und atomaren-molekularen Mikroebene chemischer Beziehungen reflektiert. Die theoretische Spaltung dieser Ebene eröffnete jedoch das Möglichkeitsfeld für die Entwicklung der klassischen chemischen Strukturtheorie in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts. Beiträge dafür leisteten Van't Hoff, Kekulé, Le Bei, Couper u. a. Darauf gründend, konnte Butlerov die Grundthese einer neuen chemischen Strukturtheorie formulieren: „Von der Annahme ausgehend, daß einem jeden chemischen Atome nur eine bestimmte und beschränkte Menge der c:hemischen Kraft (Affinität), mit welcher es an der Bildung eines Körpers Teil nimmt, innewohnt, möchte ich diesen chemischen Zusammenhang, oder die Art und Weise der gegenseitigen Bindung der Atome in einem zusammengesetzten Körper, mit dem Namen der chemischen Structur bezeichnen. ... Die chemische Natur eines zusammengesetzten Moleküls wird durch die Natur und die Qualität seiner elementaren Bestandteile und durch seine chemische Structur bedingt."[8]

Dieses konzeptionelle Herangehen, nach den *Gesetzen des Zusammenhangs zwischen Molekel- und Stoffeigenschaften* zu forschen, negiert die in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts erfolgte Gegenstandsbestimmung dialektisch, nach der es um die Aufklärung der gesetzmäßigen Beziehungen der elementaren Zusammensetzung der Stoffe und ihrer chemischen Eigenschaften ging. Der Zusammensetzungsaspekt bleibt im Gegenstand der Forschung erhalten, die neue Qualität zeichnet sich dadurch aus, dass nunmehr die Gesetzesbeziehungen zwischen Molekelstruktur und chemischen Stoffeigenschaften ins Zentrum der Erkenntnisbemühungen rückten. Da die chemischen Eigenschaften der Stoffe sich im chemischen Prozess verwirklichen,[9] und ein dialektisches Moment darin besteht, dass Aussagen zur Molekelstruktur (in jener

8 Zit. nach: H. Weißbach, Strukturdenken in der organischen Chemie, Berlin 1971, S. 59.
9 Vgl. L. Pauling, Chemie – Eine Einführung, Weinheim/Bergstraße 1969, S. 21.

Zeit) nur über die theoretische Analyse von chemischen Prozessabläufen und ihren Ergebnissen möglich sind, gewannen Überlegungen zur Dialektik von Struktur und Prozess immer mehr an Bedeutung.

In diesem Zusammenhang schälte sich zugleich ein neues Problem heraus, nämlich das des dialektisch zu betrachtenden Zusammenhangs der Mikro- und der Makroebene des chemischen Geschehens. In wenigen Fällen nur lassen sich die Beziehungen der Mikroebene einfach auf die Makroebene übertragen. So können beispielsweise aus den Strukturgesetzen einer niederen Alkanmolekel bei Kenntnis des Reaktionspartners wesentliche Aussagen zum chemischen Verhalten einer Makromenge abgeleitet werden. Viel enger jedoch sind schon die Grenzen der direkten Übertragbarkeit im Falle der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen bei der elektrolytischen Dissoziation einer Einzelmolekel und eines Kollektivs gleicher Mikrosysteme. Es ist „unverkennbar, daß wichtige Fragen der Chemie mit der molekularen Betrachtungsweise nicht einmal in das Blickfeld zu bekommen sind".[10] Desweiteren führt Primas aus: „Man kann das Naturgeschehen ‚von unten' (d. h. von den Molekülen) her oder, von oben her betrachten. Beide Lesarten sind legitim, führen aber zu grundverschiedenen Forschungsproblemen und Einsichten."[11] Er konstatiert in der Chemiegeschichte eine immer wieder vorkommende „Kategorienverwechslung von Molekülen und Stoffen"[12].

Die Herangehensweise von „unten her" brachte auf vielen Gebieten der Chemie bis in die Gegenwart hinein bedeutsame Erfolge. Es wurde jedoch immer offensichtlicher, dass die Zusammenhänge auf molarer Ebene zumeist nicht linear auf Makrosysteme übertragbar sind, und sich deshalb nicht alle Stoffeigenschaften einfach aus entsprechenden Molekeleigenschaften ergeben. Bestünde der Gegenstand der Chemie nur darin, von „unten her" ein theoretisches Abbild der Makroebene zu erhalten, wäre es u. a. erforderlich, den Zustand aller am chemischen Prozess beteiligten Teilchen und ihre Reaktionsmöglichkeiten in dem Moment zu kennen, in dem die Lösung bzw. Knüpfung chemischer Bindungen stattfindet (Elementarvorgänge), die genaue Koordination der untereinander verketteten Reaktionsfolgen zu bestimmen sowie statistische Angaben über Verteilungs- und Bewegungsgesetze der Teilchen zu ermitteln.[13]

Noch offensichtlicher wird eine gleichermaßen auf die Mikro- und die Makroebene zielende Bestimmung des Gegenstandes der chemischen Forschung, wenn unter diesem Gesichtspunkt die in neuerer Zeit ins Blickfeld gerückten *chemischen Selbstorganisationsproesse* untersucht werden. So zeigt beispielsweise die Belousov-Žabotinskij-Reaktion deutlich, dass die Erforschung der Struktur-Reaktivitätsbeziehungen auf

10 H. Primas, Kann Chemie auf Physik reduziert werden?, in: Chemie in unserer Zeit, 5/1985, S. 164.
11 Ebenda, S. 163.
12 Ebenda.
13 Vgl. K.H. Richter/H. Laitko, Zur Gegenstandsbestimmung in der Chemie, in: Philosophische Probleme der Chemie und ihrer Geschichte, Leuna/Merseburg 1969, S. 26.

dem molekularen Niveau zwar wichtige Einsichten liefert, jedoch nicht über die Gesetzmäßigkeiten der in bestimmten Zeitintervallen makroskopisch organisierten pulsierenden Makrostrukturen.[14]

In jüngster Zeit gewinnen auch in der Chemie die am Konzept der Selbstorganisation anknüpfenden Forschungen zu Evolutionsprozessen an Bedeutung[15]. Damit wird die Frage nach dem genetischen und dem systematischen Zusammenhang der *chemischen Bewegungsform der* Materie[16] mit den übrigen Bewegungsformen aufs neue aufgeworfen. Das von Engels eingeführte philosophische. Konzept der dialektisch miteinander verbundenen Bewegungsformen der Materie[17] wird in Kapitel VI ausführlich unter dem Entwicklungsaspekt diskutiert.

Unter Einbeziehung des bisher in diesem Kapitel Gesagten lässt sich folgender *Gegenstand für die moderne Chemie* bestimmen: Gegenstand der Chemie ist die Erforschung der Gesetze der auf Mikro- und Makroebene existierenden Strukturen und Struktur-Reaktionsbeziehungen und ihre dialektischen Wechselwirkungen miteinander bei der Bildung und Umwandlung von Verbindungen (Mikroebene) und Stoffen (Makroebene). Da in den Gesetzen der chemischen Bewegungsform der Materie physikalische Gesetze dialektisch aufgehoben sind, richtet sich chemische Erkenntnis auf beide Seiten. Die Chemie untersucht Gesetze solcher chemischen Strukturen und Prozesse, die

a) im Verlauf der Evolution des Kosmos hervorgebracht wurden;
b) nicht in der Natur existieren, für die aber im Evolutionsverlauf ein Möglichkeitsfeld für ihre Realisierung geschaffen wurde (Synthesen und Syntheseprodukte, für die es kein Vorbild in der Natur gibt);
c) innerhalb der chemischen Evolution eine Rolle spielten;
d) innerhalb der Evolution und in anderen Entwicklungsformen der Materie beteiligt sind (z. B. biotische Evolution – biotische Bewegungsform der Materie).

Erkannte objektive Gesetze chemischer Strukturen und Prozesse bilden als wissenschaftliche Gesetze den Kern *chemischer Theorien*. Hinsichtlich der Entwicklung des Theoriengebäudes kann die wissenschaftliche Chemie in mehrere, voneinander nicht streng abzugrenzende Perioden unterteilt werden:[18]

14 Vgl. W. Jessen, Chemische Oszillationen und Strukturen als Grundlage einer zeitlichen und räumlichen Organisation, in: Die Naturwissenschaften, 9/1978, S. 449; R. J. Field, Chemical Organization in Time and Space, in: American Scientist, 2/1985, S. 142 f
15 Vgl. W. Hillebrandt/W. Ober, Die Entstehung der chemischen Elemente, in: Die Naturwissenschaften, 5/1982, S. 205 f.; A. W. Schwartz, Chemical Evolution. The First Stages, in: Die Naturwissenschaften, 8/1983, S. 373 f.; A. Weiss, Replikation und Evolution in anorganischen Systemen, in: Angewandte Chemie, 10/1981, S. 843 f.
16 Vgl. F. Engels an Marx, 30.5.1873, in: MEW, Bd. 33, Berlin 1961, S. 80 f. Vgl. F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, 26. Band. a. a. O., S. 358.
17 Vgl. F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, 26. Band. a. a. O., S. 358.
18 Vgl. H.-J. Bittrich, Über den Bildungswert der Geschichte der Chemie, in: Wiss. Zeitschr. d. TH Leuna-Merseburg, 1/1981, S. 139.

– die Periode der Ausarbeitung der Lehre von der Zusammensetzung der Körper und damit in Bezug stehende chemische Eigenschaften (Ende des 17. bis Anfang des 18. Jahrhunderts);
– die Periode der Entwicklungen der „klassischen" Strukturchemie einschließlich wichtiger Erkenntnisse zu Struktur-Reaktivitätsbeziehungen (19. bis Anfang des 20. Jahrhunderts);
– Periode des quantenmechanischen Ausbaus der Strukturtheorie[19];
– seit etwa 1950 Aufbau der Theorie der Selbstorganisation chemischer Prozesse und der Theorie der chemischen Evolution.

Diese Zusammenstellung korreliert mit der Dialektik der Gegenstandsentwicklung der chemischen Wissenschaft und mit dem von A. A. Pečenkin entwickelten kategorialen Schema, das die Dialektik der Theorienentwicklung in Gestalt des Wandels in den Bedeutungsgeschichten der einzelnen Grundkategorien spiegelt.[20] (Vgl. *Abb. 8*)

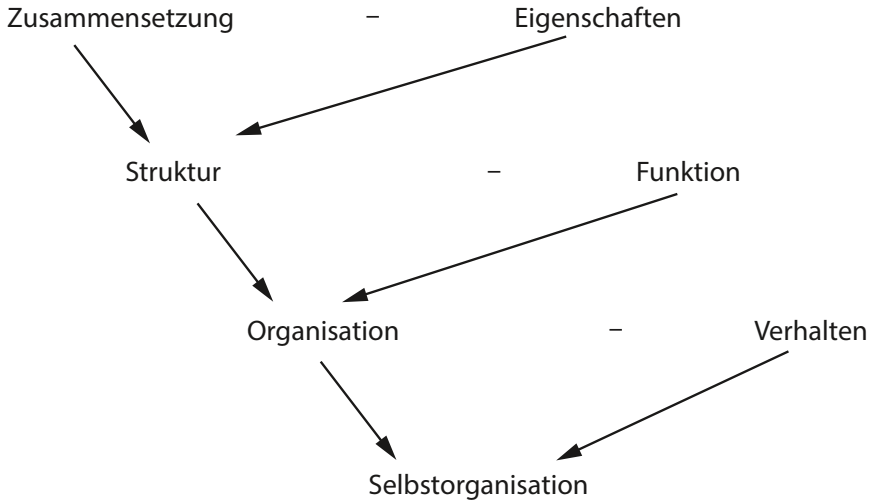

Abb. 8: Wandel in den Bedeutungen der einzelnen Grundkategorien

19 Vgl. K. Buttker, Philosophische Aspekte der Theorieentwicklung in der Chemie – eine Untersuchung am Beispiel der Herausbildung der Quantentheorie der chemischen Bindung (Diss. A), Berlin 1985; W. Haberditzl, 50 Jahre Theorie der chemischen Bindung, in: Zeitschrift für Chemie, 10/1978, S. 353 f.; L. Züliche, Alte und neue Probleme der Quantenchemie, in: Mitteilungsblatt Chemische Gesellschaft, 1/1978, S. 1-9; W. Ebeling/R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, Berlin 1982, S. 53 f.; H. Haken, Erfolgsgeheimnisse der Natur, Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken, Frankfurt/M. Berlin (West) – Wien 1984, S. 73 f.; I. Prigogine/I. Stengers, Dialog mit der Natur, München – Zürich 1981.
20 A. A. Pečenkin, Vzaimodejstvie fiziki i Chimii, Moskva 1986, S. 159.

Zur *Dialektik der theoretischen Entwicklung* innerhalb der chemischen Wissenschaft gehört, dass nicht nur eine Periode als Voraussetzung der folgenden fungiert, sondern häufig auch Problemstellungen vorausgegangener Perioden unter neuen Gesichtspunkten wieder aufgegriffen werden. Im theoretischen Zentrum der Chemie stehen seit den Anfängen ihrer Entwicklung bis heute Stoffwandlungsprozesse, d. h. qualitative Änderungen stofflicher, substantieller Eigenschaften. Die damit verbundenen Problemstellungen sind äußerst komplex, und es existieren gegenwärtig dafür keine geschlossene und erst recht keine abgeschlossene Theorie, sondern Einzeltheorien bzw. Theoriengruppen, die Einzelaspekte erfassen, sich teilweise ergänzen und auch Vernetzungen zeigen.[21]

Meist führte der Weg zur Theorie, d. h. zu einem Aussagensystem mit einem Kern aus *wissenschaftlichen Gesetzen* mit entsprechenden Existenz- und Wirkungsbedingungen, über empirische Verallgemeinerungen der Ergebnisse einiger experimentell untersuchter Objektbeziehungen.[22] Erst in jüngster Zeit zeichnen sich in Verbindung mit der Quantentheorie vermehrte Vorstöße zu einer vorwiegend deduktiven Theorienentwicklung ab.[23]

Wesentliche Momente der Theoriendynamik bildeten im Entwicklungsverlauf:

- der Ausbau einzelner theoretischer Ebenen, wie beispielsweise zur molekularen Struktur einschließlich dabei auftretender neuer, konkurrierender oder ergänzender Hypothesen, Modell und Theorienbildungen,
- damit zusammenhängende begriffliche Umdeutungen und
- eine zunehmende Tendenz, den objektiv komplexen Zusammenhängen durch die Schaffung immer neuer Verbindungspunkte in der Theorienhierarchie auch im wissenschaftlichen Abbild näher zu kommen (z. B. zur Struktur: quantenchemische Deutung der Bindungen, Topologie, Woodwart-Hoffmann-Regeln u. a.).

Für den Gesamtprozess können hier nur Beispiele stehen; etwas näher ausgeführt werden soll der Entwicklungsprozess des Abbildes über die chemische Bindung: Nachdem sich die atomar-molekulare Denkweise in der Chemie durchgesetzt hatte, entstand das Problem, wie der Zusammenhalt der Atome innerhalb einer Molekel beschaffen sei. Berzelius begründete die dualistische Valenzlehre und führte die molare Struktur auf die elektrische Gegensätzlichkeit der Atome zurück. Die Polaritäten der Elemente innerhalb einer Molekel ließen Rückschlüsse auf die chemische Reaktivität

21 Vgl. H.-J. Bittrich, Zur Funktion der Theorie in der Chemie, in: Wiss. Zeitschr. d. TH Leuna-Merseburg, 3-4/1981, S. 404.

22 Vgl. H. Hörz/K.-F. Wessel (Ltg. des Autorenkollektivs), Philosophie und Naturwissenschaften, Berlin 1986, S. 167.

23 Vgl. C. A. Coulson, Die Mathematik in der modernen Chemie, in: Nachr. chem. Techn., 5/1974, S. 95 f.; H. Müller, Die Fachrichtung Theoretische und Physikalische Chemie, in: Mitteilungsblatt Chemische Gesellschaft, 9-10/1979, S. 211.

zu. Dieses Konzept scheiterte bei dem Versuch, die Bildung von Kohlenstoffketten, molarem Sauerstoff oder die Substitution von Chlor gegen Wasserstoff an Kohlenwasserstoffmolekülen zu erklären. Dieser Widerspruch wurde gelöst, indem die dualistische Theorie zugunsten einer unitaristischen Theorie aufgegeben wurde. Kekulés Postulat zur klassischen (organischen) Valenzlehre ging davon aus, dass jedes Element räumlich gerichtete Valenzen besitze. A. Werner apostrophierte die Valenz als eine vom Mittelpunkt des Atoms ausgehende, nach allen Seiten wirkende Kraft, wobei spezifische geometrische Beziehungen innerhalb der Molekel von der Natur der Bindungspartner abhängen sollten. Mit S. Arrhenius' Theorie der elektrolytischen Dissoziation erfolgte – zwar mit anderen theoretischen Grundlagen – eine Neubelebung der dualistischen Auffassungen, die aber prinzipiell auf die gleichen Grenzen wie die von Berzelius geprägten Vorstellungen stießen. Als R. Abegg, an der von A. Werner begründeten Einzelkrafthypothese festhaltend, hetero- und homöopolare Bindungen postulierte, wurde eine neue Problemsicht deutlich, die die folgende Entwicklung stimulierte.

Auf der Basis der Rutherfordschen und Bohrschen Atommodelle erklärte G. N. Lewis die Bindungsbildung durch Elektronenpaare. Eine zentrale Rolle bildete dabei die Oktettregel, für deren Entdeckung die zuvor durch A. Werner erfolgte Unterscheidung ionischer und kovalenter Bindungen eine wesentliche Voraussetzung war.[24] Anderweitig erhielt Werners Koordinationslehre durch Lewis Elektronentheorie einen neuen Inhalt[25]. Obgleich Lewis das „Kunststück"[26] fertig gebracht hatte, die dualistische und unitaristische Lehre in einer Hypothese zu vereinigen, also Fortschritt in Gestalt dialektischer Negation zu erreichen, blieb dennoch das Problem, *wie* chemische Bindungen zustande kommen. Für die Idee, dass gleichartig geladene Elektronen Paare bilden und dabei die Bindungsfunktion übernehmen, vermochte auch Lewis keine Erklärung zu liefern.

Ein prinzipieller Durchbruch in der theoretischen Erklärung der chemischen Bindung in Molekülen gelang erst auf der Grundlage der nichtrelativistischen Quantenmechanik, wobei sich für die weitere Entwicklung viele historisch-logisch vorausgegangenen Überlegungen als heuristisch fruchtbar erwiesen.[27] Dennoch entstanden neue Problemfelder, was u. a. die ab-initio-Berechnungen von Molekülen bzw. konkurrierende halbempirische Näherungsverfahren (MO, VB) oder die Fragen nach der Rolle der kinetischen und potentiellen Energie beim Zustandekommen der Bindungen traf.[28]

24 Vgl. G. Schwarzenbach, Chemische Systematik, in: Chimia, 3/1974, S. 105.
25 Vgl. ebenda.
26 Vgl. ebenda, S. 104.
27 Siehe dazu: K. Buttker, Philosophische Aspekte der Theorieentwicklung in der Chemie – eine Untersuchung am Beispiel der Herausbildung der Quantentheorie der chemischen Bindung, a. a. O.
28 Siehe dazu: W. Haberditzl, 50 Jahre Theorie der chemischen Bindung, in: Zeitschrift für Chemie, 10/1978, S. 357.

Die theoretischen Fortschritte zu der zwar sehr wichtigen, jedoch keineswegs die ganze Chemie erschöpfenden Frage nach der Natur der chemischen Bindung hatten und haben vielfältige Einflüsse auf die Entwicklung anderer theoretischer Teildisziplinen der Chemie – so u. a. auf Beziehungen, die die Reaktivität, relative Stabilität von Molekeln oder Reaktionsmechanismen betreffen. Auch hatten sich innerhalb des Entwicklungsverlaufs grundlegende chemische Begriffsinhalte wesentlich gewandelt.

Dem Kern in den quantenchemischen Beschreibungen chemischer Zusammenhänge bilden Berechnungen der Elektronendichteverteilungen innerhalb einer Molekel, d. h., es werden physikalische Zusammenhänge abgebildet. Das hat im Extrem zu Meinungen geführt, dass die chemische Theorie letztlich in der physikalischen aufgehe – oder abgeschwächt, dass *die* grundlegende Theorie der chemischen Phänomene die Quantenmechanik der Elektronensysteme sei.[29]

Betrachtet man den bisherigen Entwicklungsprozess des Theoriengebäudes der Chemie in seiner Gesamtheit, so ging es letztlich stets darum, möglichst adäquate Abbilder von Stoffwandlungsprozessen zu erhalten. Dabei zeigte sich, dass für die Erklärung von Erscheinungen der Makroebene die Kenntnis von Gesetzen der Mikroebene unbedingt erforderlich ist. Diese Einsicht ist nicht erst seit dem Einzug der Quantentheorie in das Theoriengebäude klar. Sie war bereits in der klassischen Chemie präsent. Aber erst die Quantentheorie hat wichtige chemische Beziehungen mittels physikalischer Gesetze zu erklären vermocht. Seitdem ist die Dialektik der Beziehungen zwischen der physikalischen Gesetzen gehorchenden Mikroebene chemischen Geschehens und der chemischen Makroebene in ein neues Licht gerückt worden. Das bezieht sich vor allem darauf, dass einerseits „wesentliche mikrophysikalische Grundlagen für unser Verständnis des Stoffaufbaus und der Stoffwandlung“[30] geliefert worden sind und andererseits, dass „weniger das Einzelmolekül und seine Eigenschaften, sondern vielmehr die Wechselwirkungen von Molekülen untereinander für die Erscheinungen (der chemischen Makroebene – R. S.) bestimmend sind“.[31]

Philosophisch geht es hier um das Problem wissenschaftlich berechtigter bzw. nicht berechtigter *Reduktionen der chemischen Theorie* einschließlich zugehöriger Gesetze – *auf die physikalische*. Die Rechtfertigung wissenschaftlich berechtigter Reduktionen ergibt sich aus dem Fortbestand der der chemischen genetisch vorangehenden physikalischen Bewegungsform. Deshalb also wirken die objektiven physikalischen Gesetze auch in der chemischen Bewegungsform der Materie. Die wissenschaftlich erkannten physikalischen Gesetze gehen also auch in das Theoriengebäude der Chemie ein. *Philosophischer Reduktionismus* liegt nur dann vor, wenn die qualitativen Unterschiede

29 Vgl. Tae-Kye Ha, Chemie durch Computer – Chemie ohne Chemikalien, in: Chimia, 6/1976 S. 297-304.
30 L. Zülicke, Alte und neue Probleme der Quantenchemie, in: Mitteilungsblatt Chemische Gesellschaft, a. a. O., S. 1.
31 Ebenda, S. 7.

der Bewegungsformen nicht berücksichtigt werden und der Versuch unternommen wird, alle chemischen Erscheinungen allein auf physikalische Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen. Im realen Prozess des Ausbaus des chemischen Theoriengebäudes zeigen sich zwei widersprüchliche, für die Qualifizierung der chemischen Theorie unabdingbare Tendenzen im Entwicklungsverlauf: Die erste Tendenz bezieht sich auf die wachsende Physikalisierung, die zweite führt zur Vertiefung traditioneller chemischer Vorstellungen.[32] Es geht hier um einen typischen Integrationsprozess innerhalb der Wissenschaftsentwicklung. „Das Begriffssystem der Quantenchemie z. B. ist ein Begriffssystem für Physik und Chemie und führt zu einer Vereinheitlichung dieser beiden Wissenschaften, zu einem Näherrücken, wie das früher nicht möglich war, ist also unter keinen Umständen in einer ‚reduktionistischen' Weise zu interpretieren."[33]

Die „klassische" Phase der Chemieentwicklung ist weitgehend charakterisiert durch das dialektische Inbeziehungsetzen der noch nicht quantentheoretisch durchdrungenen – aber bereits physikalische Gesetze einbeziehenden – Atom- und Molekülmodelle und daraus abgeleiteten, meist qualitativen Aussagen über chemische Veränderungen von Stoffen. Hier wurden viele unterschiedliche Prozessklassen erfassende Theorien entwickelt (Redox-Theorie, Säure-Base-Theorien, Theorie der Substitutionsreaktionen u. a.). Eine bedeutende Bereicherung erhielten diese theoretischen Aussagen aus dem vertieften interdisziplinären Zusammenwirken von Physik und Chemie. Mit den Theorien der physikalischen Chemie konnten wesentliche Aspekte des chemischen Reaktionsablaufs (Gleichgewichtsthermodynamik, Reaktionskinetik u. a.) ergänzt werden. Viele der „klassischen" Aussagen konnten mittels der Quantenchemie auf eine neue Stufe gehoben werden. Es ist davon auszugehen, dass von hier aus die zukünftige Theoriendynamik ihre wichtigsten Impulse erhalten wird. Noch mehr als in den vorangegangenen Phasen der chemischen Erkenntnisentwicklung wird es darum gehen, die Dialektik physikalischer und chemischer Beziehungen in der chemischen Theorie zu erfassen.

Die Theoriendynamik steht historisch in dialektischer Beziehung zur Entwicklung einzelner Erkenntnis*methoden*. Aus der Analyse der Geschichte der Erkenntnisentwicklung ergeben sich auch heuristische Momente für die Diskussion zu gegenwärtigen Fragen der Dialektik der Beziehungen von Theorien und Methodenentwicklungen innerhalb der Chemie.

Die Methoden der Alchimisten gründeten sich im wesentlichen auf zwei Vorgehensweisen: Die erste bezog sich auf die direkte Übertragung naturphilosophischer Vorstellungen auf chemische Zusammenhänge; die zweite, unmittelbar daraus folgende, waren Versuche zur Realisierung des „theoretisch" Vorweggenommenen. Dieser *Probierkunst* gingen keine Fragen an die Natur (Hypothesen) voraus. Ihren

32 Vgl. A. A. Pečenkin, Vzaimodejstvie fiziki i chimii, a. a. O, S. 157.
33 H. Müller, Die Fachrichtung Theoretische und Physikalische Chemie, in: Mitteilungsblatt Chemische Gesellschaft, 9-01/1979, S. 212.

wesentlichen Inhalt bildeten die Versuche solcher Stoffwandlungen, deren Möglichkeit – naturphilosophisch begründet – außer Zweifel stand.

Die Schwelle des Übergangs von der Alchimie zur wissenschaftlichen Chemie ist durch den beginnenden Aufbau eines qualitativ neuen Theoriensystems und – was noch bedeutender ist – durch die Überwindung der idealistischen Grundlagen der Probierkunst charakterisiert. So war die am Übergang zur wissenschaftlichen Chemie entwickelte Phlogistontheorie zwar eine nichtadäquate Widerspiegelung von Wesenheiten des Verbrennungsvorgangs, aber die erkenntnistheoretischen Voraussetzungen ihrer Bildung und das Ringen um Verifikation bzw. Falsifikation zeugten von materialistischem Herangehen. Anstelle scheinbar feststehender philosophisch reflektierter Naturzusammenhänge traten Beobachtung, gezielte Versuche zu Veränderungen und Erklärungen von Naturerscheinungen. Unter dem Einfluss der Lehren der englischen Materialisten (vor allem F. Bacon) bildete sich die für die weitere Entwicklung der Chemie so außerordentlich bedeutsam werdende experimentelle Methode heraus. Sie stützt sich auf wissenschaftliche Erkenntnisse über objektive Gesetzmäßigkeiten und wissenschaftlich begründete Vermutungen (Hypothesen), die mit dem Experiment einer objektiven Analyse unterzogen werden. In diese neue Qualität der menschlichen Auseinandersetzung mit chemischen Stoffwandlungen gingen viele Erfahrungen aus den Alchimistenküchen ein, vor allem Stoffkenntnisse und Arbeitstechniken. In diesen Beziehungen erweist sich der Fortschritt vom Probieren zur experimentellen Methode als dialektische Negation.

In der ersten Phase des Aufbaus der klassischen Chemie stand die experimentelle Analyse der elementaren Zusammensetzung der Stoffe – die qualitative Analyse – im Vordergrund. Die der Analyse entgegengesetzte Methode, die Synthese, wurde ebenfalls bereits im Prozess der Auseinandersetzungen um die Phlogistontheorie herausgebildet, so dass schon auf dieser qualitativen Stufe der chemischen Wissenschaft die Dialektik zwischen Analyse und Synthese in den Erkenntnisbemühungen der Chemiker sichtbar wurde. F. Engels charakterisierte diese Beziehungen: „Die Chemie, in der die *Analyse* die vorherrschende Untersuchungsform ist, ist nichts ohne deren Gegenpol, die Synthese."[34] Insbesondere die Entwicklung der klassischen organischen Chemie ist die Frucht der Verbindung von experimenteller Analyse und Synthese. Diese Verbindung beinhaltet ein weiteres, generell in der experimentellen Methode enthaltenes Moment – nämlich die theoretische Analyse und Synthese. Die experimentelle Analyse setzt die zur experimentellen Fragestellung führende theoretische Analyse voraus; so wie das experimentelle Ergebnis erst in der auswertenden theoretischen Synthese eine Antwort auf die vorausgegangene Fragestellung ermöglicht.

In der Chemieentwicklung wurde die qualitative experimentelle Analyse schon frühzeitig durch quantitative Methoden ergänzt. Letztere war und ist stets an physikalische Methoden gebunden, in einfachsten Fällen an Wägungen und Volumenbe-

34 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, 26. Band, a. a. O., S. 49.

stimmungen. Die „rein“ chemischen Methoden wurden durch physikalische ergänzt. Entwickeltere physikalische Methoden, wie beispielsweise die Röntgenstrukturanalyse, Dipolmessungen, spektroskopische Verfahren, waren später engstens mit der Entfaltung des chemischen Theoriengebäudes verbunden.[35]

Die weitere Vervollkommnung der praktisch-gegenständlichen menschlichen Tätigkeit mittels objektiver Analysen und praktischer Synthesen hatte Fortschritte im theoretisch-schöpferischen Denken zur Voraussetzung.[36] Darin einbezogen war auch die sukzessive verstärkte Nutzung von Modell- und mathematischen Methoden als bereichernde und ergänzende Vertiefungen der experimentellen Methode. Die Konstruktion von Modellen sowie die Arbeit mit ihnen zum Zwecke der Erkenntniserweiterung erreichte einen ersten Höhepunkt bei der Entwicklung der in ihren Grundzügen noch heute gebräuchlichen chemischen Zeichensprache und einen zweiten im Zuge der Begründung und Ausformung der klassischen organischen Strukturtheorie.[37]

Mathematisch erfasste quantitative Zusammenhänge sind ebenfalls relativ früh in der Geschichte der chemischen Wissenschaft anzutreffen. Das bezieht sich auf stöchiometrische Aussagen und Berechnungsmethoden, was jedoch nicht mit der mathematischen Methode, in deren Kern es um die Gewinnung prinzipiell neuen Wissens geht, gleichzusetzen ist. Für die mathematische Behandlung chemischer Strukturen und Strukturveränderungen wurden erst in der modernen Entwicklung wesentliche Voraussetzungen geschaffen. Der Einzug der mathematischen Methode bei gleichzeitiger Vertiefung der Modellmethode war an die Ausarbeitung und Nutzung der Quantenchemie gebunden. Einschränkend bei halbempirischen Verfahren und vollständig bei An-initio-Berechnungen wurde die mathematische Methode zur Quelle neuen chemischen Wissens, indem mittels Modellrechnungen Antworten auf chemische Fragestellungen möglich wurden. Waren noch vor einigen Jahrzehnten nur kleine Moleküle der Berechnung zugänglich, so konnte in den letzten Jahren vor allem mit der Entwicklung der Rechentechnik das Feld mathematisch zugänglicher Problemlösungen wesentlich erweitert werden.[38]

Von den Erfolgen der Hardware-Entwicklung profitierte zunächst hauptsächlich die mathematische Behandlung chemischer Bindungen, und erst später wurde diese auf dem Gebiet der zwischenmolekularen Wechselwirkungen wirksam.[39] Der sich

35 Siehe dazu: H. Weißbach, Strukturdenken in der organischen Chemie, a. a. O., S. 98 f.
36 Vgl. H. Hörz, Die Beziehungen zwischen Experiment, Modell und Theorie im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozeß, in: Experiment – Modell – Theorie, hg. v. H. Hörz und M. E. Omel'janovskij, Berlin 1982, S. 12.
37 Siehe dazu: R. Simon, Das Experiment in der chemischen Erkenntnis, in: Experiment – Modell – Theorie, a. a. O., S. 68 f.
38 Siehe dazu: A. A. Pečenkin, Vzaimodejstvie fiziki i chimii, a. a. O., S. 124 f.
39 Siehe dazu: L. Zülicke, Alte und neue Probleme der Quantenchemie, a. a. O., S. 7.

inzwischen eingebürgerte Begriff der Computerchemie[40] erfasst außerdem Computerapplikationen im chemischen Experiment, computergestütztes Recherchieren, Klassifizieren und Simulieren.[41] Die Einführung solcher Methoden, wie beispielsweise die computergestützte Syntheseplanung[42] oder die auf der Basis von Computerprogrammen erfolgenden Prozesssimulationen[43], erfordert den Zusammenfluss mathematischer, Modell- und experimenteller Methode. Das geschieht nicht unabhängig von der Entwicklung der chemischen Theorie. So hat z. B. die Forderung nach computergerechten Abbildformen die Entwicklung der chemischen Topologie stark befruchtet,[44] während Bewertungsprobleme von möglichen Reaktionsschritten bei der computergestützten Syntheseplanung u. a. die theoretische Vertiefung kinetischer Aussagen stimulierten.[45]

Es existieren Meinungen, dass mit weiteren Fortschritten der Rechenmethoden und der Computertechnik sich eine „Alternative zur experimentellen chemischen Forschung"[46] entwickeln könnte. Gegenwärtig aber zeigt sich ein gleichzeitiger Ausbau der experimentellen Basis, wie beispielsweise bei der Schaffung neuer spektroskopischer Verfahren,[47] *und* die Ausweitung der mathematischen und Modellmethoden. Für die Lösung der häufig sehr komplexen chemischen Problemstellungen ist die ergänzende Nutzung einzelner Methoden aus unterschiedlichen Bereichen vielfach unabdingbar.

Methodenentwicklung und die integrative Nutzung verschiedener Methoden sind im umfassenden Erkenntnisprozess nicht als selbständiges, die Entwicklung der chemischen Theorie determinierendes Feld zu sehen; sie bedürfen ebenso ihrer spezifisch-theoretischen Grundlagen, wie deren Ausbau häufig durch ungelöste theoretische Probleme angeregt wird. Die gegenwärtigen Diskussionen um das Problem der chemischen Bindung verweisen sehr eindringlich auf die Notwendigkeit, eine Vielfalt von Methoden und Theorieansätzen zu verfolgen. Der absehbare weitere

40 Vgl. B. Adler, Computerchemie – eine Einführung, Leipzig 1986.
41 Vgl. B. Adler, Computerchemie, in: Mitteilungsblatt Chemische Gesellschaft, 2/1987, S. 32
42 Vgl. D. Martin, Möglichkeiten und Grenzen der rechnergestützten Syntheseplanung, in: Sitzungsberichte der AdW der DDR, 15 N 1977, S. 3 f.
43 Vgl. H.-H. Emons/W. Voigt, Zur Chemie geschmolzener Salze, in: Sitzungsberichte der AdW der DDR, 15 N 1981, S. 8 f.; H.-H. Emons/W. Voigt, Geschmolzene Salze – Struktur und Eigenschaften, in: Wissenschaft und Fortschritt, 7/1980, S. 259 f.
44 Vgl. M. Zander, Molekulare Topologie, in: Die Naturwissenschaften, 12/1984, S. 623 f.; M N. J. Turro, Geometrisches und topologisches Denken in der Organischen Chemie, in: Angewandte Chemie, 98/1986, S. 872 f.
45 Vgl. A. Weise/W. Kühnel/F. Illmann, Computerchemie – Chemie ohne Chemikalien?!, in: Spektrum, 1/1987, S. 1-3.
46 Tae-Kyu Ha, Chemie durch Computer – Chemie ohne Chemikalien, a. a. O., S. 304.
47 Vgl. E. Bayer/H. Kelker, Analytische Chemie in Deutschland – wohin?, in: Die Naturwissenschaften, 10/1983, S. 473-479.

Entwicklungstrend der chemischen Wissenschaft scheint nicht dahin zu gehen, in der Forschung „das Experiment abzuschaffen und das Laboratorium durch ein Rechenzentrum zu ersetzen".[48] Dabei steht außer Zweifel, dass viele vor Jahren nur experimentell erreichbare Daten heute bereits über Modellrechnungen oder auf anderen nichtexperimentellen Wegen zugänglich geworden sind. Zugleich wächst die Bedeutung des einzelnen Experiments als Praxis des Chemikers in dem Maße, wie es zur Quelle und zum Kriterium der Wahrheit für immer umfassendere und tiefer gehendere theoretische Aussagen wird.

2. Dialektik von Element und System in der Chemie

Die vorausgehend skizzierten Linien über Gegenstands-, Theorien- und Methodenentwicklungen in der chemischen Wissenschaft verweisen auf zwei wesentliche Seiten objektiver Dialektik, deren Aufklärung Konzentrationspunkte in den theoretischen und praktischen Bemühungen der Chemiker bildeten und bilden. Zum einen bezieht sich das auf die Dialektik von System und Element und zum anderen auf dialektische Beziehungen zwischen Struktur und Prozess. Der Erkenntnisverlauf zur Widerspiegelung objektiv-dialektischer Beziehungen (objektive Dialektik) besitzt selbst eine dialektische Struktur (Dialektik des Erkenntnisprozesses), wobei das Ziel darin besteht, ein möglichst adäquates Abbild (subjektive Dialektik) der objektiven Beziehungen zu erhalten. Die Rede über objektive Dialektik setzt ihre Erkenntnis voraus, und diese ist stets historisch bedingt. Inwieweit unser Wissen objektive Dialektik adäquat spiegelt, zeigt sich in der Bewährung dieses Wissens in der chemischen Labor- und Industriepraxis.

Die Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen chemischen Elementen und Systemen sowie chemischen Strukturen und Prozessen spiegeln *objektiv-dialektische Momente*, deren jeweilige Abbilder den Charakter relativer Wahrheiten besitzen, die deshalb keinen Endpunkt in der Erkenntnisentwicklung darstellen. Betrachten wir zunächst die Element-Spur-Beziehungen in der Chemie.

Der *chemische Elementbegriff* besitzt seine Wurzel in den naturphilosophischen Vorstellungen der Antike. Im Denken ihrer materialistischen Traditionslinie bildeten die vier Elemente Feuer, Wasser, Luft und Erde die Grundbausteine der stofflichen Seite der Materie. Die Vielfalt und Veränderlichkeit der Natur begründete sich aus den variablen Mischungsverhältnissen der vier Elemente, die sich aus kleinsten, unteilbaren Teilchen (Atomen) zusammensetzen sollen. Aus den Schriften des Aristoteles sind uns die naturphilosophischen – nicht einzelwissenschaftlichen – Auffassungen Demokrits und Leukippos – übermittelt: Beide meinen, „daß die Unterschiede (im Bereich der Primärkörper [der Atome – R. S.]) Ursache für alles übrige sind. Solche Unterschiede

48 Vgl. C. A. Coulson, Die Mathematik in der modernen Chemie, in: Nachr. chem. Techn., 5/1974, S. 95.

gebe es drei: Gestalt, Lage und Anordnung."[49] Die beobachtbaren Veränderungen erhielten folgende Erklärung: „Infolge der Wandlungen des Zusammengesetzten erscheint deshalb ein und dasselbe dem einen ganz anders als dem anderen, es gestaltet sich um, wenn ihm nur ein wenig (Stoff) beigemischt wird, und scheint überhaupt ein anderes zu sein, wenn nur eine (Form = Atom) ihren Platz verändert hat. Entsteht doch aus denselben Buchstaben Tragödie wie Komödie."[50]

In der materialistisch-atomistischen Linie wurden also *Stoffeigenschaften und deren Veränderungen* aus sich selbst heraus zu begründen versucht. Diesen genialen antizipatorischen Gedanken über chemische Element-Systembeziehungen war in der Wissenschaftsgeschichte keine Kontinuität beschieden. Zunächst wurden Probleme sichtbar, wie sie Dijksterhuis umreißt: „Die Behauptung, daß alle in der Erfahrungswelt vorkommenden homogenen Stoffe aus den Elementen zusammengesetzt sind, läßt natürlich die Frage entstehen, welche Seinsform den Elementen in einer solchen Verbindung (... mictio) zugeschrieben werden muß ... Man ist also geneigt zu schließen, daß in den Verbindungen die Elemente nicht mehr vorhanden sind."[51] Einen scheinbaren Ausweg fand Aristoteles, indem er die theoretische *Trennung* zwischen den *Elementen* und ihren *Eigenschaften* vollzog. Die Elemente existieren danach nur prädisponiert im neuen Stoff, dessen Eigenschaften sich aus der Mischung der sich aus den Elementen Erde, Wasser, Luft und Feuer ableitenden Prinzipien Kalt, Feucht, Trocken und Heiß zusammensetzen. Die Prinzipien waren keine Eigenschaften im Sinne materieller Beziehungen; die Mischung selbst wurde nicht als Resultat inhärenter Wechselwirkungen der Elemente bzw. Prinzipien interpretiert, sondern als das Ergebnis eines äußeren Bewegers. Mit diesen Auffassungen war ein wesentlicher Schritt zum Verlassen der materialistischen Erklärung von Naturerscheinungen vollzogen; das materialistische Erbe der antiken Atomisten wurde so mindestens teilweise verschüttet. Die im wesentlichenen, auf Aristoteles zurückgehenden philosophischen Vorstellungen wurden für längere Zeit zur „theoretischen" Grundlage der Alchimie.

Erste, noch mit Zügen der alten Qualität behaftete Schritte des Übergangs von der alchimistischen zur wissenschaftlich begründeten chemischen Elementarlehre ging im 17. Jahrhundert der englische Naturforscher R. Boyle. Er unternahm es, die vor allem auf Aristoteles zurückgehenden Vorstellungen *experimentell* zu prüfen und theoretische Widersprüche zwischen diesen Vorstellungen und den entsprechenden experimentellen Ergebnissen aufzuzeigen. In seiner Schrift „Der skeptische Chemiker" (!) beschrieb er u. a. Experimente zur Zerlegung von gemischten Körpern mittels Feuer.[52] Die Ergeb-

49 F. Jürß/R. Müller/E. G. Schmidt, Griechische Atomisten, Leipzig 1973, S. 130.
50 Ebenda.
51 E. J. Dijksterhuis, Die Mechanisierung des Weltbildes, Berlin (West) – Göttingen Heidelberg 1956, S. 25.
52 R. Boyle, Der skeptische Chemiker, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften 229 (Reprint), Leipzig 1929.

nisse führten ihn dazu, die vier Elemente als auch die drei Prinzipien anzuzweifeln, denn „die rein logischen Argumente zugunsten der aristotelischen Hypothese (denn die Chemiker verlassen sich fast ganz auf Experimente) sind gewöhnlich auf ganz unvernünftige oder unsichere Voraussetzungen gegründet."[53] Vor dem Hintergrund heutigen Wissens über chemische Elementarität erscheint Boyle sogar als Schöpfer eines lange in der Chemie gebräuchlichen wissenschaftlichen Elementbegriffs, wenn die folgende Äußerung außerhalb ihres Kontextes genommen wird. Boyle verstand nämlich unter Elementen „bestimmte ursprüngliche und einfache oder gänzlich ungemischte Körper ...; Körper, die nicht aus irgendwelchen anderen Körpern oder aus einander zusammengesetzt und welche die Bestandteile bilden, aus denen alle jene Körper, welche vollkommen gemischt genannt werden, unmittelbar zusammengesetzt sind ...".[54] Zur atomistischen Idee bekannte sich Boyle ebenfalls; er begriff jedoch Makromengen chemischer Elemente nicht aus gleichartigen Atomen zusammengesetzt,[55] sondern hielt an der alten „Vorstellung von den universalen Elementen"[56] fest.

Dem heutigen chemischen Elementbegriff entspricht etwa, was Boyle als „primäre Konkretionen"[57], die sich aus „Uratomen" zusammensetzt, verstand. Die Annahme Boyles, dass diese Konkretionen in Uratome zerteilt und in anderen Konkretionen erneut zusammentreten könnten, bildete eine theoretische Stütze der alchimistischen Transmutationsversuche, die auch Boyle noch selbst unternommen hatte.

Wesentliche Fortschritte, zum Problem der chemischen Elementarität, wurden beim Ausbau des bereits teilweise latent im Boyleschen Denken befindlichen Ansatzes zur Vereinigung der neuen Elementfassung und der Hypothese über die atomistische Struktur der Stoffe erreicht. Vor dem Hintergrund der Erkenntnis der Gesetze der konstanten und multiplen Proportionen sowie des bedeutend erweiterten chemisch-analytischen Wissens konnte J. Dalton die Elementarität chemisch nicht weiter zerlegbarer Stoffe auf die Zusammensetzung gleichartiger Atome zurückführen. Diese neue Qualität im Denken über chemische Elementarität setzte die endgültige Überwindung der naturphilosophisch-spekulativen Vorstellungen der Alchimie sowie den Übergang von nur qualitativen zu quantitativen chemisch-experimentellen Analysen voraus. Die Erkenntnisentwicklung war an diesem Punkt engstens mit den von den englischen Materialisten (vor allem F. Bacon) erreichten Fortschritten im philosophischen Denken und den methodischen Errungenschaften der Chemie verbunden. Beides führte in der Folgezeit zum sukzessiven Aufspüren und Charakterisieren der auf der Erde und ihrer Hülle (später auch in Sternen und im interstellaren Raum) vorkommenden chemischen Elemente.

53 Ebenda, S. 82.
54 Ebenda, S. 85.
55 Vgl. ebenda, S. 89 f.
56 E. Färber/M. Färber, Nachwort zu: R. Boyle, Der skeptische Chemiker, a. a. O., S. 104.
57 L. Strube/R. Stolz, H. Remane, Geschichte der Chemie, a. a. O., S. 52.

Einen Höhepunkt dieser Entwicklung bildeten die Erkenntnis des Gesetzes der Periodizität und die Entdeckung des natürlichen Systems der chemischen Elemente (*Periodensystem der Elemente – PSE*) durch D. Mendelejew und L. Meyer. Auf dieser Basis wurden nicht nur die Elemente in ihrem natürlichen Zusammenhang erfasst, einschließlich ihrer wichtigsten chemischen und physikalischen Eigenschaften, sondern auch Voraussagen über noch aufzufindende Elemente möglich. Die Bestätigung der Prognosen veranlasste F. Engels zu höchster Anerkennung: „Vermittelst der – unbewußten – Anwendung des Hegelschen Gesetzes vom Umschlagen der Quantität in Qualität war Mendelejeff eine wissenschaftliche That gelungen, die sich der Leverriers in der Berechnung der Bahn des noch unbekannten Planeten Neptun kühn an die Seite stellen darf."[58] Die damals noch ausstehende Erklärung über den natürlichen Zusammenhang der chemischen Elemente wurde erbracht, als die physikalische Forschung zu grundlegenden Aussagen über die Atomstruktur vorstieß. Wurden anfangs die Atome als kleine unveränderliche Kugeln vorgestellt, so wurde in der Atomphysik erkannt, dass mit den Atomen nicht die Grenze der teilbaren materiellen Objekte erreicht ist. Hierzu könnten Boyles Gedanken über die chemische Elemente konstituierenden „Konkretionen" ebenso antizipatorisch in Beziehung gebracht werden, wie der in der Blüte der Alchimie stehende Transnutationsgedanke als Antizipation zu heute prinzipiell möglichen Elementarumwandlungen auf physikalischem Wege. – Davon profitierte die weitere Erkenntnisentwicklung jedoch kaum; vielmehr zeigten sich erst im Nachhinein bestimmte Beziehungen zwischen gesichertem Wissen und spekulativen Konstruktionen.

Die Erkenntnisse über das Atom wurden bestimmend für den weiteren Entwicklungsweg, dessen wichtigste Stationen u. a. mit den Namen Rutherford, Bohr und Heisenberg verknüpft sind. Nun konnten die Beziehungen der Elemente im PSE auf ihre Protonenzahlen und die Strukturen der Elektronenhülle zurückgeführt werden. Im wechselseitig ergänzenden Zusammenwirken von Chemikern und Physikern wurde so ein bedeutsamer Beitrag für die Aufdeckung wesentlicher objektiv-dialektischer Beziehungen und für die Herstellung eines innertheoretischen Bandes der Chemie geliefert. Seitdem über *kernphysikalische Prozesse* „Elementtransmutationen" prinzipiell möglich geworden sind, wird das Problem der erreichbaren „oberen Grenze" des PSE diskutiert.[59] Dabei geht es um die Frage, bis zu welcher maximalen Protonenzahl Atome synthetisierbar sind. Kernphysiker vermuten heute die Existenz mehrerer so genannter stabiler Inseln im Bereich der Transurane.[60]

Werden im allgemeinen als Elemente materieller Systeme die Teile bezeichnet, die bei Systemveränderungen unverändert erhalten bleiben, so zeigte sich im Falle des

58 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, 26. Band, 3, a. a. O., S. 360.
59 Vgl. B. M. Kedrov/D. N. Trifonov, O sovremennych problemach periodičeskoj sistemy, Moskva 1974, S. 10.
60 Vgl. ebenda, S. 11.

Atoms die Notwendigkeit, auch die Dialektik von System und Element zu berücksichtigen. Vom Standpunkt des Atomphysikers besitzt das Atom eine komplizierte Struktur, die aus den Beziehungen der so genannten Elementarteilchen resultiert. Für den Chemiker war hier solange kein Problemansatz gegeben, wie er davon ausging, dass Atome identisch mit chemisch unzerlegbaren Elementen seien. Das änderte sich mit dem fortschreitenden Wissen über die Beteiligung der Elektronenhülle der Atome an der Bildung chemischer Systeme. Als Folge setzte sich seit den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts eine Elementauffassung durch, die die Elementatome als durch die *Kernladungszahl* definierte Ganzheit (Atomsorte) betrachtet.[61]

Dieser Elementbegriff bezieht sich ausschließlich auf die chemische Mikroebene. Wie bereits betont, besteht jedoch ein Wesenszug des von der chemischen Wissenschaft untersuchten Ausschnitts der Natur darin, dass die Beziehungen der *Mikroebene* Grundlage für das Erscheinungsbild der *Makroebene* sind, jedoch die Erscheinungen auf der Makroebene sich nicht einfach additiv aus den Zusammenhängen der Mikroebene ergibt. So existieren beispielsweise bei Atomen solche Eigenschaften wie Temperatur und Farbe nicht, während sie Kollektiven der gleichen Teilchen zukommen. Deshalb werden häufig sprachlich chemische Elemente (Atomsorten) und elementare Substanzen (Makromenge) unterschieden und somit ein spezieller Aspekt der objektiven Dialektik zwischen Teil und Ganzem berücksichtigt. – Aber auch diese Widerspiegelungen führten bei ihrer Konfrontation mit der objektiven Realität zu Problemen. Nur in den wenigsten Fällen bestehen bei Normalbedingungen elementare Substanzen aus einer Anhäufung gleichartiger, singulärer Atome. So setzt sich z. B. eine makroskopische Menge eines Mols Sauerstoff unter o. g. Bedingungen aus $6{,}23 \cdot 10^{23}$ O_2-Mikro*systemen* zusammen. Auch in diesem Fall wird vom Element Sauerstoff gesprochen. Die Elementarität dieser Makromenge bezieht sich hier auf Mikrosysteme, die sich aus gleichen Elementqualitäten (Kernladungszahl) zusammensetzen. Ein spezifisches Moment der Dialektik von System und Element spiegelt sich hier in der Dialektik von Mikro- und Makroebene.

Mit der chemischen Elementarität ist unmittelbar die Frage nach den kleinsten *chemischen Systemen* verbunden. Im Verständnis der Chemiker des 19. Jahrhunderts waren das chemisch abgesättigte singuläre Mikrosysteme, die sich aus Atomen in einem definierten Zahlenverhältnis zusammensetzen. Ein solches System, eine Molekel (Molekül), sollte alle Eigenschaften einer makroskopischen Substanzmenge besitzen, die eine Vielzahl solcher Moleküle repräsentiert. Dieses additive, nicht die Dialektik von Quantität und Qualität berücksichtigende Denken führte bald auf logische Widersprüche zu Erkenntnissen aus der experimentellen chemischen Praxis. Logische Widersprüche wurden hier zum Ausgangspunkt für die Erkenntnis objektiv-dialektischer Widersprüche. Mit dem tieferen Eindringen in die Strukturen der verschiedenen Substanzen wurden die theoretischen Schwierigkeiten bei der

61 Vgl. L. Beyer, Anorganische Chemie, Berlin 1981, S. 16.

Bestimmung kleinster chemischer Systeme immer offenkundiger. So sind beispielsweise bei Ionenkristallen oder Metallen weder chemisch abgesättigte noch relativ voneinander isolierte Teilchen, für die der anfangs geprägte Molekelbegriff anwendbar wäre, anzutreffen. In manchen Fällen wird deshalb von „offenen" Systemen im Gegensatz zu den „geschlossenen" der chemisch abgesättigten Moleküle gesprochen.[62] Im Rahmen der sich in unserem Jahrhundert stürmisch entwickelnden Chemie der Makromoleküle zeigte sich das Vorhandensein unterschiedlicher Molekelgrößen und teils auch -formen in scheinbar einheitlichen Substanzen. Außerdem wurden unter den Festkörpern immer mehr nichtstöchiometrische Verbindungen benannt (z. B. $Fe_0\ O_{100}$). Dies führte endgültig zum Scheitern des klassischen Molekelkonzepts. Zur Widerspiegelung der erkannten objektiven Vielfalt kleinster chemischer Systeme wurden solche Bezeichnungen wie molare Konfiguration, Formel-, Verbindungs- und Baueinheit vorgeschlagen und damit der jeweilige Systemtyp spezifiziert. Dennoch hat sich der Molekelbegriff über die gesamte Breite der chemischen Wissenschaft erhalten, gewandelt hat sich dabei allerdings sein Inhalt. Der Mannigfaltigkeit chemischer Systemtypen wird heute dadurch Rechnung getragen, dass mit dem Molekelbegriff ein idealisiertes Objekt widergespiegelt wird, das in der Realität als neutrales Molekül, Ion, kristalline Elementarzelle etc. existiert.

In der Geschichte des chemischen Denkens spielte bis in die nahe Vergangenheit hinein weder die Entstehung der chemischen Elemente und Systeme noch die objektive Entwicklung der Dialektik der Element-System-Beziehungen im Universum eine Rolle. Die chemische Wissenschaft befasst sich gewissermaßen mit den aus der Entwicklung des Kosmos hervorgegangenen geronnenen Elementstrukturen, d. h. mit den Ergebnissen des Entwicklungsverlaufs und mit dem dabei eröffneten Möglichkeitsfeld zum Aufbau oder zur Veränderung chemischer Systeme – auch von solchen, für die es kein Vorbild in der Natur gibt. Erst in den letzten Jahren wurden Probleme der natürlichen Entstehung der im Universum existierenden chemischen Elemente und der chemischen Bewegungsform der Materie, einschließlich ihrer objektiven Gesetze, der wissenschaftlichen Bearbeitung zugänglich.

Es lassen sich folgende wesentliche Aussagen dieses Abschnitts zusammenfassen:

1. Die Begriffe des *chem*ischen Elements und des chemischen Systems widerspiegeln spezifische Aspekte der objektiven Strukturiertheit der materiellen Welt.

2. Chemische Elemente und Systeme sowie deren Beziehungen zueinander sind unabdingbar an die chemische Bewegungsform der Materie gebunden.

3. Für eine umfassende Widerspiegelung chemischer Elementarität und des Systemcharakters der von der Chemie untersuchten Objekte ist die Beachtung der objektiv-dialektischen Beziehungen zwischen der Mikro- und Makroebene unerlässlich.

4. Die Forschungsergebnisse am kosmosentwicklunggeschichtlichen „Gewordensein" chemischer Elemente und Systeme *und* des Möglichkeitsfeldes chemischer

62 Vgl. Philosophie und Naturwissenschaften, a. a. O., S. 78.

Element- und Systemanforderungen liefern einen wichtigen Beitrag für die Vertiefung eines materialistischen und dialektischen Entwicklungsverständnisses über die materielle Welt.

3. Dialektik von Struktur und Prozess in der Chemie

Die Begriffe „chemisches Element", „chemisches System", „chemische Struktur" und „chemischer Prozess" (Reaktion) sind ebenso grundlegend für die chemische Wissenschaft, wie der der chemischen Bindung. Der Wandel dieser Begriffsinhalte stellt sogleich einen Spiegel der Dialektik des damit verbundenen Erkenntnisprozesses dar.

Im Gesamtverlauf der chemischen Erkenntnis tritt ein Widerspruch auf, der für den Großzyklus von den wissenschaftlichen Anfängen bis zur Gegenwart als Trend zu beobachten ist: Die Widerspiegelung des Strukturaspekts war der Widerspiegelung chemischer Prozessaspekte zumeist voraus, obgleich – wie bereits hervorgehoben – das ureigene Anliegen der Chemie die Erforschung und Realisierung von Stoffwandlungsprozessen darstellt. W. Hückel formuliert treffend: „Mit der Kenntnis der Struktur ... der Stoffe ist die Aufgabe der Chemie nicht erschöpft. Sie ist vielmehr erst die Grundlage, auf der sich ein Verständnis für das Reaktionsvermögen der Stoffe gewinnen läßt."[63]

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Dialektik von Statik und Dynamik innerhalb chemisch nicht reagierender Systeme besitzen Vorformen im antiken philosophischen Denken. Den Ursprung der Bewegung außerhalb der Atome leugnend, ging Demokrit davon aus, dass sie von Ewigkeit bereits ständig bewegt seien. Inwieweit die Strukturvorstellungen der Alchimisten ein dynamisches Moment enthielten, ist im einzelnen schwer rekonstruierbar. Indem sie jedoch von einer gänzlich passiven Urmaterie ausgingen, musste Bewegung als zur Substanz hinzukommend gedacht werden. Auch hier war der Aristotelische Gedanke eines in das Naturgeschehen eingreifenden Bewegers präsent.

Im 17. und 18. Jahrhundert wurden die Gesetzmäßigkeiten der Newtonschen Mechanik auch für das Denken der Chemiker weitgehend bestimmend. So schrieb beispielsweise Boyle: „Denn ich glaube, daß die Menschen niemals imstande sein werden, die Naturerscheinungen zu erklären, solange sie sich bemühen, sie lediglich aus dem Vorhandensein und dem Verhältnis bestimmter materieller Bestandteile abzuleiten, und dabei diese Bestandteile oder Elemente als Körper im Ruhezustand betrachten. In Wirklichkeit scheinen nämlich vielmehr die Zustände der Materie und folglich die Naturphänomene größtenteils von der Bewegung und der Struktur der kleinen Teilchen der Körper abzuhängen."[64] Obgleich auch Boyle Struktur und Bewegung noch trennte, war er bereits auf dem Wege, die Bewegung als Daseinsweise

63 W. Hückel, Anorganische Strukturchemie, Stuttgart 1948, S. 9.
64 R. Boyle, Der skeptische Chemiker, a. a. O., S. 81.

der Materie zu verstehen. Anderweitig blieb Boyle noch völlig dem Aristotelischen Denken verhaftet, wenn er von einem „architektonischen Prinzip“ spricht und darin jene verschiedenen Richtungsbestimmungen und jene geschickte Leitung der Bewegungen der kleinen Teilchen der universalen Materie durch den allweisen Schöpfer der Dinge, die am Anfang nötig waren, „um das wilde Chaos in unsere geordnete und schöne Welt zu verwandeln“[65] sieht.

In der sich unmittelbar anschließenden Entwicklungsphase, innerhalb derer endgültig der *Durchbruch zur wissenschaftlichen Chemie* erfolgte, ging zunächst der Gedanke des Dynamischen von chemischen Strukturen verloren. Im Molekül sah man ein Gerüst von Atomgruppierungen (Konfiguration). Die regressive Bedeutung dieses Teilzyklus innerhalb des Großzyklus der Entwicklung der chemischen Wissenschaft aber war gering. Viel bedeutender wurde die im selben Zeitraum erfolgende Abkehr von objektiv-idealistischen Interpretationen des Naturgeschehens. Auf dieser Grundlage wurde in der Mitte des vorigen Jahrhunderts das chemische Wissen vorherrschend auf dem organischen Gebiet stark erweitert. Eine Negation der Negation erfuhren nun auch die bereits von Boyle geäußerten Vorstellungen über dynamische Aspekte der statisch erscheinenden Moleküle. Hierzu vermerkte Butlerov: „Will man im Zurückführen der chemischen Erscheinungen auf mechanische Ursachen noch einen Schritt weitergehen, so kann man zu der Annahme gelangen, dass eine eigenthümliche Theilchenbewegung jedem Körper angehöre und seine eigenthümliche Natur bedinge.“[66]

Kekulé dachte ebenfalls die Atome im Demokritschen Sinne als ständig bewegt, was sich besonders anschaulich auch in der Schilderung seines vielzitierten Traums über die Benzolstruktur (Benzenstruktur) zeigt. Den Kern seiner Überlegungen bildete die so genannte Oszillationshypothese: „In den Atomsystemen, die wir Moleküle nennen, müssen die Atome in fortwährender Bewegung angenommen werden, aber diese Bewegung muß nothwendig der Art sein, daß die Atome ihre relativen Stellungen nicht wesentlich ändern, daß sie also stets zu einer mittleren Gleichgewichtslage zurückkehren.“[67] Dieses Verständnis der Bewegung als mechanische Ortsveränderung war bei der Erklärung der Drehbarkeit von C-C-Einfachbindungen sowie bei der Umwandlung isomerer Molekelformen ebenfalls enthalten. Dennoch war in der Phase der klassischen organische Strukturchemie die Forschung weniger auf die o. g. innermolekularen Atombewegungen, sondern hauptsächlich auf die „Architektur“ der Molekeln gerichtet.

Der Ausbau chemischer und physikalischer Methoden zur Strukturforschung hatte bis zur Jahrhundertwende einerseits zu einem umfangreichen Wissen über viele

65 Ebenda, S. 89.
66 A. M. Butlerov, Lehrbuch der organischen Chemie zur Einführung in das specielle Studium derselben, Leipzig 1868, S. 127.
67 A. Kekulé, Die Chemie auf der 43. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Innsbruck, in: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, (2) 1869, S. 857.

Molekelstrukturen – einschließlich kompliziert aufgebauter Naturstoffe – geführt und andererseits ein beim Verständnis chemischer Bindungen immer deutlicher werdendes Erklärungsdefizit hinterlassen. Im Prinzip gingen alle bis dahin entwickelten Erklärungsversuche über das Wesen der chemischen Bindung von möglichen Ortsveränderungen der als Korpuskeln betrachteten Elektronen aus, die entweder paarweise zwischen den Atomrümpfen oder aus Ortsveränderungen resultierenden Polaritäten den Zusammenhalt innerhalb einer Molekel bewirken sollten.

Eine neue Qualität wurde bei der Widerspiegelung der Dialektik von Statik und Dynamik im Rahmen der quantenchemischen Vorstellungen über Atom- und Molekülorbitale entwickelt. Gemäß der klassischen Strukturtheorie sollen Strukturen vorrangig durch feststehende Bindungen bewirkt werden, wobei für die Atomrümpfe in dem nichtreagierenden System kleinere Schwingungen zulässig sind. Quantenchemisch stellen Molekel ein Ensemble von beweglichen Atomrümpfen und Elektronen (mit Korpuskeln- und Welleneigenschaften) dar, deren Wechselwirkungen sich nach elektrostatischen und quantenchemischen Gesetzen regeln. Damit wurden die bereits in den klassischen Vorstellungen mehr oder minder sichtbar gewordenen Widersprüche zwischen Statik und Dynamik auf eine neue Grundlage gestellt und der *Strukturbegriff* tiefgehend „*dynamisiert*", was gleichzeitig die metaphysische Gegenüberstellung von Struktur und Prozeß in der Theorie ausschließt.

Der Übergang von den klassischen zu den modernen chemischen Strukturvorstellungen ist ein instruktives Beispiel einer dialektischen Negation. Die klassische Theorie wurde nicht einfach „abgelöst" oder falsifiziert – wie etwa Popper Theorienentwicklung versteht[68] –, sondern dialektisch aufgehoben. Dabei rückten viele „alte" Aussagen in ein neues Licht, wie beispielsweise die zur „Molekelarchitektur".

Das moderne Konzept, das die *objektive Dialektik von Struktur und Prozess als widersprüchliche Einheit* fasst und nicht der starren Struktur Bewegung „hinzufügt", hebt den Reaktionsfähigkeitsaspekt hervor und stellt die Beziehung zur *chemischen Reaktion* her. Diese ist der dialektische Gegenpol zur *chemischen Struktur*. Bezogen auf die atomar-molekulare Ebene stellt sich die chemische Reaktion als widersprüchliche Einheit von Erhaltung chemischer Elemente und Bildung, Umwandlung oder Zerstörung chemischer Systeme dar.[69] In dieser modernen Widerspiegelung des Wesens der chemischen Reaktion sind Veränderliches und Beständiges als unabdingbar zusammengehörige Aspekte enthalten.

Der Entwicklungsweg zu dieser objektiven Dialektik erfassenden Widerspiegelung besitzt ebenfalls eine Wurzel in den naturphilosophischen Vorstellungen der Antike. Da die Atomisten unter den griechischen Naturphilosophen die Atome als unveränderlich betrachteten und die Veränderlichkeit der Welt mit der Umgruppierung der

68 Vgl. K. R. Popper, Logik der Forschung, Tübingen 1984.
69 Vgl. H. Laitko/W.-D. Sprung, Chemie und Weltanschauung, Leipzig – Jena – Berlin 1973, S. 44.

Atome begründeten, findet sich hier bereits der Gedanke über den widersprüchlichen Zusammenhang zwischen Statik und Dynamik. In der Blüte der Alchimie spielte dieser Inhalt naturphilosophischen Denkens keine unmittelbare Rolle mehr; an seine Stelle rückte die Erklärung des Stoffwandels als Veränderung der „Mixtio". Das Stabile in der Veränderung bildete die Urmaterie, der nur verschiedene Qualitäten eingepflanzt worden seien.[70]

In der Übergangsphase zur wissenschaftlichen Chemie, in der Boyle einen in Teilen noch alchimistisch gefärbten Elementbegriff nutzte, wurde in den „Elementen" bereits das Beständige des Prozesses gesehen: „So ist es nicht unmöglich, daß durch das Feuer und andere Mittel, welche imstande sind, nicht nur die kleinen Teilchen der Körper voneinander zu trennen, sondern sie nachher in neuer Anordnung wieder zusammenzufügen, eine Änderung der Struktur hervorgerufen wird und dasselbe Quantum Materie diejenigen Eigenschaften erwirbt oder verliert, die genügen, es Salz oder Schwefel oder Erde zu benennen."[71]

Eine andere Widerspiegelungsebene, die der *Prozessstruktur*, wurde erstmals auf wissenschaftlicher Basis in Gestalt der Phlogistontheorie entwickelt. Die Struktur eines chemischen Prozesses ist die invariante Vernetzung bestimmter Strukturen und Strukturveränderungen ausgehend von den Edukten bis zu den Produkten.

Die Struktur des Verbrennungsvorgangs von Metallen erhielt zunächst folgendes Abbild:

Metall → Metallkalk + Phlogiston.

Experimentelle Ergebnisse bei der Verbrennung von Metallen ergaben, dass nicht, wie aus dem o. g. Strukturbild zu entnehmen, das Verbrennungsprodukt leichter als das anfangs in den Prozess eingesetzte Metall war. Dies versuchten viele Forscher mit Hilfe zusätzlicher Hypothesen zu erklären.[72] Schließlich aber brachten insbesondere die Arbeiten Lavoisiers das Abbild der Prozessstruktur des Verbrennungsvorgangs mit den experimentellen Ergebnissen recht zwanglos in Einklang:

Metall + Sauerstoff → Metalloxid (Metallkalk).

Der damit eingeleitete Zyklus des Ausbaus der klassischen Chemie war u. a. durch die Erforschung vieler individueller Prozessstrukturen bestimmt. Das sukzessive ermittelte und verallgemeinerte empirische Wissen erweiterte den Erklärungshorizont. In die bereits seit den Anfängen der Chemie bekannten Prozessstrukturen, Analyse und Synthese, wurden mit einem neuen theoretischen Hintergrund weitere Reaktionstypen eingeordnet. Dabei wurden chemische Veränderungen auf substratimmanente Eigenschaften einschließlich der von außen wirkenden Bedingungen (vor

70 Vgl. M. Berthelot, Die Chemie im Altertum und im Mittelalter, Leipzig – Wien 1909, S. XX u. 67.

71 A. M. Butlerov, Lehrbuch der organischen Chemie zur Einführung in das specielle Studium derselben ,a. a. O., S. 89.

72 Siehe dazu: I. Strube/R. Stolz/H. Remane, Geschichte der Chemie, a. a. O., S. 58.

allem Temperatureinflüsse) zurückgeführt und auf der Basis der wissenschaftlichen Atomlehre erklärt. Als das Beständige jeder Veränderung wurden die Atome gesehen – zunächst als elementare, unveränderliche und unstrukturierte Teilchen. Es wurde erkannt, dass die Eigenschaften der reagierenden Elemente das *Möglichkeitsfeld* für die Bildung chemischer Systeme bestimmt. Noch komplexer erwies sich das chemische Geschehen bei der Wechselwirkung chemischer Systeme.

Offen blieb zunächst, was sich auf der Mikroebene der makroskopischen Erscheinungen vollzieht. Ein wichtiger Schritt zum Abbild dieser Beziehungen war die Erkenntnis über die Strukturiertheit des Atoms in Protonen und Elektronen und die damit im Zusammenhang entwickelten theoretischen Vorstellungen über die Bildung und Lösung chemischer Bindungen. Das ermöglichte u. a. die dialektische Negation der auf Lavoisier zurückgehenden Aussage über die Oxidation als Sauerstoffaufnahme. Die neue Struktur des Redoxprozesses, die die Sauerstoffaufnahme als Sonderfall einschließt, widerspiegelte tatsächliche oder gedachte Elektronenübergänge, die zu Veränderungen der Oxidationsstufen der Elemente führen. Dieses Bild der Prozessstruktur enthält den objektiv unabdingbaren Zusammenhang zwischen Oxidation und Reduktion sowie zwischen Oxidationsmittel und Reduktionsmittel:

$$\boldsymbol{Red_2 + Ox_2 \rightarrow Ox_2 + Red_1}$$

(*Red.*: Reduktionsmittel; Ox.: Oxidationsmittel).

Die die Elektronen der chemischen Elementatome einbeziehende Strukturtheorie ermöglichte desweiteren, die Dissoziation von Elektrolyten zu erklären und verschiedene Konzepte von Säurebasen-Theorien[73] zu ermitteln. Auf den prinzipiell gleichen Grundlagen basieren auch die modernen Widerspiegelungen über unterschiedliche Klassen chemischer Prozessstrukturen. Eine durchgängige einheitliche Klassifikation existiert hier nicht, zumal häufig die Möglichkeit besteht, die gleiche Reaktionsstruktur unterschiedlichen Typen zuzuordnen.[74]

Das Wissen über die Molekelstruktur der Reaktanten erlaubt dem Chemiker Abschätzungen über die zu erwartende Prozessstruktur. Hier wird der objektive Zusammenhang zwischen Struktur und Prozess theoretisch reflektiert. Dieser Zusammenhang erwies sich aber in sehr viel komplexeres Determinationsgefüge eingebettet, dessen Kenntnis dazu verhilft, das abgebildete Möglichkeitsfeld potentieller Prozessstrukturen einzugrenzen. Einen bedeutenden Beitrag dazu lieferte die sich seit Ende des 19. Jahrhundert entfaltende physikalische Chemie.

Ein großes Teilgebiet, die Thermodynamik, erforscht und beschreibt energetische und daraus abgeleitete Zusammenhänge bei Makroprozessen. Ein anderes Teilgebiet

73 Vgl. R. Simon, Chemie – Dialektik – Theorieentwicklung. Eine Untersuchung zu philosophischen Fragen in der Chemie im Zusammenhang mit der Theorie über Säuren und Basen, Berlin 1980.
74 Vgl. U. Uhlig (Hrsg.), Reaktionsverhalten und Syntheseprinzipien, Leipzig 1973, S. 20 f.

der physikalischen Chemie die Reaktionskinetik, konnte auf bereits bekanntem Wissen über Reaktionsstrukturen aufbauend, den chemischen Elementarakt als Theorie des Übergangszustands abbilden und Gesetzmäßigkeiten über die Geschwindigkeiten chemischer Reaktionen aufdecken. In dem Zusammenhang fand durch W. Ostwald auch das wesentlich früher entdeckte Phänomen der Katalyse eine erste wissenschaftliche Erklärung, die im annähernden Gleichschritt mit der gesamtchemischen Entwicklung bis in die Gegenwart hinein mehrfach dialektische Negationen erfuhr.[75] Viele der um die Jahrhundertwende erforschten Zusammenhänge zur Kinetik chemischer Reaktionen erhielten mit der Herausbildung der Quantenchemie ein vertieftes theoretisches Abbild.

Die physikochemischen Gesetze chemischer Systeme und Systemveränderungen beziehen sich teilweise auf die Mikro- und teilweise auf die Makroebene chemischen Geschehens. Während die Kinetik vor allem die Mikroebene abbildet, reflektieren thermodynamische Gesetze ausschließlich die Makroebene. Ein Aspekt des Zusammenhangs beider Ebenen zeigt sich u. a. bei der Analyse des chemischen Gleichgewichts. Die thermodynamische Beschreibung chemischer Prozesse liefert Aussagen über die Lage des chemischen Gleichgewichts, d. i. das Verhältnis der Reaktanten nach Ablauf des makroskopisch beobachtbaren Prozesses. In dem zur Ruhe gekommenen Prozess laufen aber ständig chemische Reaktionen auf dem atomar-molekularen Niveau mit gleicher Hin- und Rückgeschwindigkeit ab. Das bedeutet, dass die Ruhe, das Unveränderliche des Makrosystems, durch die Bewegung seiner Mikrosysteme realisiert wird.

Die Gesetzmäßigkeiten der Thermodynamik und Kinetik sind jeweils aus den komplexen chemischen Struktur-Prozess-Beziehungen theoretisch herausgehobene Seiten. In ihrer Gesamtheit bilden sie gemeinsam mit dem übrigen Wissen über chemische Strukturen und Prozesse ein angenähertes Spiegelbild eines Ausschnitts objektiver Naturdialektik. Es ergibt sich daraus für den Chemiker bei der theoretischen Widerspiegelung dieser Zusammenhänge der „Zwang", die aus der Mikro- und Makroebene einzeln abgehobenen Gesetze in einen Gesamtzusammenhang zu bringen.

In den meisten Fällen werden chemische Reaktionen, die zur Ausbildung dynamischer Gleichgewichte zwischen den Reaktanten führen, widergespiegelt. Bei den an anderer Stelle angeführten dissipativen chemischen Strukturen stellen sich unter der Bedingung der Gleichgewichtsferne Nichtlinearitäten und Symmetriebrüche in der inneren Dynamik ein. Bei Überschreitung bestimmter kritischer Bedingungen findet ein Übergang vom individuellen zum kooperativen Verhalten statt, so dass z. B. die oszillierenden Strukturen der Belousov-Žabotinskij-Reaktion entstehen.[76] Die Selbstbewegung und die Komplexität des Chemischen enthält die *Möglichkeit der*

75 Vgl. R. Simon, Die Hypothese im historisch-logischen Entwicklungsprozeß der Katalyseforschung (Diss. B), Berlin 1986.
76 Vgl. W. Ebeling/R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, a. a. O., S. 60.

Strukturierung. Bei der Ausbildung von Konkurrenzreaktionen und Reaktionsnetzen vermag ein chemisches Makrosystem mehr als nur einen stabilen Zustand zu erzeugen. Da Leben thermodynamisch stets in Gleichgewichtsferne existiert und an ein äußerst komplexes Netz chemischer Strukturen und Prozesse gekoppelt ist, ergeben sich Übergänge vom Chemischen zum Biotischen. (Vgl. VI. 3.)

Zusammenfassend lassen sich zu den Beziehungen zwischen chemischer Struktur und chemischem Prozess folgende Feststellungen treffen:

1. Im Chemischen bilden *prozessierende Strukturen* und *strukturierte Prozesse* eine dialektische Einheit. Diese Zusammenhänge stellen eine spezifische Beziehung des untrennbaren Zusammenhangs von Materie und Bewegung dar.

2. Die Strukturen chemischer Reaktanten determinieren im Zusammenhang mit den inneren Beziehungen zwischen den Elementen (Aktivierungsenergien) und äußeren Bedingungen (Temperatur, Druck) ein Möglichkeitsfeld chemischer Strukturveränderungen, deren Resultat Ausgangspunkt für neue Prozesse sein kann. Die Quelle chemischer Veränderungen bilden die aus dem komplexen Determinationsgefüge resultierenden Widersprüche. Die die Quelle des Prozesses bildenden Widersprüche erlöschen im Produkt des Makroprozesses, wobei innere Widersprüche die Struktur des Produkts realisieren.

3. Chemische Strukturen und Reaktionsnetze sind ein Entwicklungsprodukt der Materie. Die im Entwicklungsprozess des Universums „geronnenen" chemischen Strukturen und Prozesse bilden das eigentliche Feld der chemischen Wissenschaft, beinhalten aber auch die objektive Möglichkeit des Übergangs zu einer neuen, höheren Qualität – dem Leben.

4. Der Erkenntnisprozess zur Aufdeckung objektiver Dialektik ist selbst dialektisch. Die Erkenntnis über chemische Prozesse setzt Wissen über die Struktur der Reaktanten voraus – das Wissen über chemische Reaktionen ermöglicht Einsichten in chemische Strukturen. Die Formung von Abbildern über einzelne Zusammenhänge und ihre dialektische Negation im Verlauf des Erkenntnisfortschritts sind ein ebenso notwendiges Moment wie die Synthese zur höheren Form des Konkreten, um zu einer immer besseren, der objektiven Dialektik angenäherten Widerspiegelung zu gelangen.

Kapitel V: Dialektik der biologischen Erkenntnis

1. Objekte, Theorien und Methoden der Biologie

Die Biologie ist die *Wissenschaft von den Gesetzen der lebenden Materie*, die mit den Organismen und den durch ihre Beziehungen untereinander gebildeten überorganismischen Systemen gegeben ist. Sie gehört zu den Wissenschaften, die eine kurze Geschichte und eine lange Vergangenheit haben. Kenntnisse und Vorstellungen biologischen Charakters werden gewonnen, seitdem Menschen als Sammler, Jäger, Fischer, Ackerbauer und Viehzüchter sowie bei vielen anderen Arbeiten Pflanzen und Tiere für ihren Lebensunterhalt nutzen und seitdem sie Lebensvorgänge am eigenen Leibe und bei ihren Mitmenschen erleben und zu beeinflussen suchen. Naturgeschichte, Medizin und Naturphilosophie waren seit dem Altertum die drei Wissensgebiete, in denen solche Kenntnisse und Vorstellungen vor allem überliefert und weitere entwickelt wurden. „Bis zum 17. Jahrhunderts etwa bestand das, was wir heute Biologie nennen würden, aus zwei Gebieten, zwischen denen nur ein recht schwacher Zusammenhang bestand: Naturgeschichte und Medizin. Im Verlauf des 17. und 18. Jahrhunderts teilte sich die Naturgeschichte recht deutlich in Zoologie und Botanik auf, obgleich viele der Zoologen und Botaniker von Fach, bis zu Linnaeus und Lamarck, sich beliebig zwischen beiden Gebieten hin und her bewegten. In der Medizin sonderten sich zur gleichen Zeit Anatomie, Physiologie, Chirurgie und klinische Medizin zunehmend voneinander ab. Gebiete, die im 20. Jahrhundert vorherrschende Bedeutung gewinnen sollten, wie die Genetik, Biochemie, Ökologie und Evolutionsbiologie, existierten vor 1800 schlechthin nicht“, konstatiert E. Mayr.[1]

Um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert entstanden, nicht zuletzt inspiriert durch Ideen *Kantscher* und besonders *Schellingscher Naturphilosophie*, konzeptionelle Entwürfe des Inhalts *einer* Wissenschaft vom Leben der Pflanzen, Tiere und auch des Menschen – einer Wissenschaft namens Biologie. Der Ausdruck „Biologie“ wurde da von mindestens fünf Autoren eingeführt: 1797 von Th. G. A. Roose, 1800 von K. F. Burdach, 1801 von J. B. Lamarck, 1802 von G. R. Treviranus und 1805 von L. Oken.[2] Von Lamarck übernahm Comte den Begriff der Biologie in die Klassifikation der Wissenschaften, die er seinem „Cours de philosophie positive“ zugrunde legte. 1838 erschien dessen dritter Band unter dem Titel „La philosophie chimique et la

1 E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, Berlin (West) Heidelberg – New York – Tokyo 1984, S. 103.

2 Vgl. G. Leps, Begriff der Biologie – 180 Jahre alt, in: Biologie in der Schule, 6/1977, S. 225-228; G. Schmid, Über die Herkunft der Ausdrücke Morphologie und Biologie, Halle (Saale) 1935. Aus dem Jahre 1808 stammt die erste Darstellung einer „Allgemeinen Biologie“ vor Ernst Bartels, wie H.-A. Freye in der Rezension einer modernen „Einführung in die Allgemeine Biologie“ mitteilt (Biologische Rundschau, 2/1987, S. 119).

philosophie biologique". Über Comte bürgerten sich Name und Begriff der Biologie allmählich ein.

Ebenfalls um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert ersetzten – worauf W. Lefèvre hinweist – F. V. d'Azyr, J. W. von Goethe, A. L. de Jussien, Lamarck und P. S. Pallas die alte Dreiteilung der Naturgeschichte in die des Mineralreiches, des Pflanzenreiches und des Tierreiches durch die Unterscheidung zwischen „anorganisch" und „organisch".[3]

Im Verlauf des 19. Jahrhunderts wurde die Biologie zu einer *Wissenschaft*, die neben und in Verbindung mit Physik und Chemie trat und mehr war als nur eine Zusammenfassung vorhandener Wissenszweige und Forschungsgebiete, von Botanik, Zoologie und Physiologie unter einem neuen Namen. Diese Formierung der Biologie war wesentlich damit verbunden, dass sie sich von spekulativer Naturphilosophie und Naturtheologie emanzipierte, Kreationismus und Vitalismus, idealistische Teleologie und morphologisch-typologischen Idealismus überwand, aber auch über Empirismus und Induktionismus hinausschritt. Das geschah dadurch, dass sich die Biologie *eigene theoretische Grundlagen* schuf. Sie wurden auf Grund einer Reihe von Erkenntnisfortschritten, die das bisherige Bild von der lebenden Natur umwälzten, mittels materialistischen Denkens erarbeitet, in dem zugleich fortschreitend die *objektive Dialektik* der lebenden Natur reflektiert wurde.

Dieser wissenschaftshistorische Prozess bestand einmal im Feststellen der materiellen Einheit von lebender und nichtlebender Natur auf Grund des Satzes von der Erhaltung und Umwandlung der Energie (R. Mayer, H. Helmholtz), der einsetzenden Synthese organisch-chemischer Verbindungen aus anorganischen Stoffen (F. Wöhler) und der Stoffkreisläufe in der Natur (J. Liebig). Er wurde zum anderen ergänzt durch den Nachweis der Einheit in der Mannigfaltigkeit tierlichen und pflanzlichen Lebens, der darin bestand, dass alle Lebewesen aus Zellen, den elementaren Trägern der Lebenserscheinungen, aufgebaut sind (Th. Schwann) und dass sie sich in durch die Fortpflanzung vermittelter Kontinuität in der Aufeinanderfolge der Generationen auf sich verzweigenden Wegen aus gemeinsamen Vorfahren stammesgeschichtlich entwickelt haben (Ch. Darwin).

Schließlich war es wichtig, dass die Biologie ihr Terrain bereinigte und sich mit uralten vorwissenschaftlichen Vorstellungen auseinandersetzte, z. B. der von einer ständig stattfindenden Urzeugung von Lebewesen aus nichtlebenden Substanzen, die L. Pasteur endgültig widerlegte, oder der von einer Vererbung erworbener Eigenschaften, die A. Weismann zu überwinden begann.

Zellenlehre und *Abstammungslehre* wurden zu den allgemeinen konzeptionellen Grundlagen, auf denen sich die Biologie bis zum Ende des 19. Jahrhunderts als

3 Vgl. W. Lefèvre, Die Entstehung der biologischen Evolutionstheorie, Frankfurt/M. – Berlin (West) – Wien 1984, S. 28 f. „Anorganisch" und „organisch" sind bald darauf in die Terminologie der Chemie übergegangen, während ihre ursprüngliche Bedeutung in „nichtlebend" und „lebend" bzw. „abiotisch" und „biotisch" aufgehoben ist.

eigenständige Naturwissenschaft konstituierte, während der *Entwicklungsgedanke* zu ihrer übergreifenden Idee wurde. Seither ist die Biologie einerseits bis zur *molekularen Basis* des Lebens in den Zellen und andererseits bis zum *Biostroma* vorgedrungen, zum Gewebe des Lebenden, das den Planeten Erde in der Biosphäre umhüllt. Sie hat die Entwicklung des Lebens in der Vergangenheit bis zu ihren Anfängen vor einigen Milliarden Jahren zurückverfolgt. Ihr Gegenstandsbereich erstreckt sich hinsichtlich der in ihm auftretenden Größen von Atomen und Molekülen bis zur Biosphäre der Erde und darüber hinaus zum Leben unter künstlichen Bedingungen im erdnahen Kosmos (Raumfahrtbiologie). In zeitlicher Hinsicht hat sie es bei der Wechselwirkung der Moleküle mit Ereignissen zu tun, deren kürzeste in wenigen Millionstel Sekunden ablaufen und deren längstes mit der Evolution des Lebenden seit über 3,5 Milliarden Jahren auf der Erde andauert.

„Kaum ein anderer Aspekt ist für das Leben so bezeichnend wie seine nahezu unbegrenzte Vielfalt", bemerkt Mayr.[4] Er verweist darauf, dass es in einem höheren Organismus wenigstens 10.000 verschiedene Arten von Makromolekülen gibt (einige Schätzungen liegen sogar sehr viel höher). Ziehe man all die verschiedenen Zustände von Repression und Derepression aller Gene in einem Zellkern in Betracht, so besitze ein höherer Organismus Millionen, wenn nicht Milliarden verschiedener Zellen. Die Zahl der bei den verschiedenartigen Lebewesen vorfindbaren Organe, Drüsen, Muskeln, Nervenzentren, Gewebe usw. gehe in die Tausende. In Populationen sich zweieltrig-geschlechtlich fortpflanzender Lebewesen ist – von monozygoten Mehrlingen abgesehen – jedes Individuum genetisch einmalig. Zudem könne sie sich, selbst wenn sie genetisch gleich sind, von jedem anderen Lebewesen durch die Informationen unterscheiden, die sie im Laufe ihres Lebens im Immunsystem und auf Grund individuellen Lernens im Nervensystem gespeichert haben. Auf 10 Millionen belaufen sich die höchsten Schätzwerte für die Anzahl der heute auf der Erde lebenden Tier- und Pflanzenarten. „... seit mindestens 500 Millionen Jahren existiert eine reiche Tier- und Pflanzenwelt; wenn wir einen vernünftigen Umsatz in der Artenzusammensetzung der Tier- und Pflanzenwelt annehmen, so liegt die geschätzte Zahl von 1 Milliarde ausgestorbenen Arten vermutlich eher zu niedrig als zu hoch."[5]

- Bestimmungen der Biologie als Wissenschaft von den lebenden Organismen kennzeichnen ihren Gegenstandsbereich bei weitem nicht mehr hinreichend. Dessen gedankliche Bewältigung zeigt sich u.a. in der
- Überwindung des „Organismozentrismus" der Biologie durch die Systemauffassung der lebenden Natur in Verbindung mit der Molekularbiologie, mit dem „Populationsdenken" der Genetik und Evolutionsbiologie, mit dem „biozönotischen" Denken der Ökologie, in denen wahrscheinlichkeitstheoretische und

4 E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, a. a. O., S. 199.
5 Ebenda, S. 113.

kybernetische Betrachtungsweisen enthalten sind und die zum *dialektischen Determinismus* hinführen;

– Verbindung der *Systemauffassung* der lebenden Natur mit dem *Entwicklungsgedanken*, sowohl bezüglich der Individualentwicklung der Organismen (Entwicklungsbiologie) als auch bezüglich der Evolution auf den verschiedenen Organisationsniveaus der lebenden Natur und der gesamten Biosphäre.

In diesen Tendenzen, den *Gegenstandsbereich der Biologie* gedanklich zu bewältigen, zeichnen sich drei Leitgedanken ab:

1. das *Prinzip der komplizierten Organisation des Lebens*, das auf die innere Struktur der lebenden Materie als raumzeitlich organisierte enkaptische Hierarchie von materiellen Systemen verschiedener Ordnung verweist;

2. das *Prinzip des Lebens als planetare Erscheinung*, das auf die äußere Bedingtheit und Wechselwirkung der lebenden Materie als Bestandteil des Planeten Erde und ihre Stellung in übergreifenden Zusammenhängen zwischen Erde und Kosmos orientiert;

3. das *Prinzip der Evolution des Lebens*, das lehrt und auffordert, die lebende Materie, wie sie gegenwärtig existiert, im Detail und im Ganzen als in historischer Entwicklung befindlich zu begreifen und ihre gegenwärtige Beschaffenheit aus ihrer Entwicklung in der Vergangenheit zu erklären. „Nichts in der Biologie ergibt einen Sinn, außer im Lichte der Evolution, *sub specie evolutionis*“[6], formulierte Th. Dobzhansky prägnant.[7]

Was bedeutet das *biologische Prinzip der komplizierten Organisation des Lebens*? Auf der Erde befinden sich so verschiedene Klassen von Dingen, wie z. B. Viren, Bakterien, Pflanzen, Pilze, Tiere, Populationen, Pflanzengesellschaften, Biozönosen und Biome in der Form der Bewegung, die mit dem naturwissenschaftlichen Begriff „Leben“ bezeichnet wird, jede von ihnen auf besondere Weise. Der strukturelle und funktionelle Zusammenhang zwischen diesen Dingen im Zeithorizont der Gegenwart tritt zutage, wenn man sie als Systeme und Elemente von Systemen betrachtet, die in spezifischer Weise raum-zeitlich organisiert sind. Diese Betrachtungsweise – das systemische und strukturell-funktionelle Herangehen – führt folgerichtig dazu, die biotischen Objekte und damit die lebende Natur insgesamt als eine ineinander geschachtelte Hierarchie unterschiedlich organisierter Systeme verschiedener Ordnung aufzufassen. In ihr bilden mehrfach Systeme niederer Ordnung Elemente von Systemen höherer Ordnung. Systeme gleicher Ordnung und Organisation bilden jeweils eine Strukturebene (Organisationsniveau) der Hierarchie. Diese biotische Systemhierarchie existiert durch stoffliche, energetische und informationelle Beziehungen.

Wie K. M. Žavadskij konstatierte, „wird das Prinzip der kornplierten Organisation des Lebens, die nicht auf irgendeine einzige Form oder ein einiges System zurückführbar ist, immer mehr zu einem der theoretischen Fundamente der modernen Biologie. Ein sehr wichtiger Aspekt der neuen Denkweise ist die Absage an das Bekenntnis

6 Unter dem Gesichtspunkt der Evolution.

7 Th. Dobzhansky, Biology, Molecular and Organismic, in: American Zoologist, 4/1964, S. 7.

zum Organismus als einziger realer oder wenigstens einziger grundlegender und primärer Organisationsform des Lebenden."[8] Der Autor präzisiert diese Absage an den „Organismenzentrismus" durch die begründete Konzeption, dass es *vier fundamentale und primäre Organisationsformen und Strukturebenen* der lebenden Materie gibt: die *organismische*, die *Populations- und Art-*, die *biozönotische* und die *biostromatische Form* der Organisation des Lebenden.

Der Blick auf die letztgenannte Organisationsform des Lebenden lässt auch das Leben in seiner wesentlichen Eigenschaft als *planetare Erscheinung* hervortreten. Es befindet sich im Grenzbereich von Gesteinshülle (*Lithosphäre*), Wasserhülle (*Hydrosphäre*) und Lufthülle (*Atmosphäre*) der Erde und durchdringt ihn, dabei die Wasserhülle vollständig. Dieser vom Leben erfüllte und durch seine Wechselwirkung mit der nichtlebenden Natur geprägte Bereich ist die *Biosphäre*. In ihr spielt das Leben – fundiert durch die Photosynthese der chlorophyllhaltigen Lebewesen – seine planetare und kosmische Rolle, indem es von der Sonne her auf die Erde auftreffende kosmische Energie in irdische Energie umwandelt. „Die lebende Substanz kann man als eine im aktiven Zustande befindliche Materie ansehen, gewissermaßen als Akkumulator der Sonnenenergie. Sie verwandelt die strahlende Wärmeenergie der Sonne in Molekularbewegung", schrieb V. J. Vernadskij, der Begründer der Theorie der Biosphäre. „Die Erdrinde erscheint uns mithin nicht als eine indifferente Anhäufung von Materie, sondern vielmehr als ein komplizierter Mechanismus. Dieser unterhält die Atome der Erdrinde vermittels der im ‚aktiven' Zustande befindlichen Materie in dauernder energischer Bewegung."[9]

Beim Prinzip des Lebens als planetare Erscheinung geht es zunächst darum, das Leben in seiner Integration in das Dasein des Planeten Erde zu sehen. Vom Vorkommen des Lebens auf diesem Planeten stammt alles Wissen über diese Bewegungsform der Materie, es ist „geozentrisch". Doch sprechen sowohl Indizien aus astromischen Beobachtungen als auch astrophysikalische Hypothesen über die Struktur und Evolution des Kosmos dafür, dass Planetensysteme und dabei auch belebte Planeten in den Galaxien nicht allzu selten sind. So führt die Idee des Lebens als planetare Erscheinung auch zu der allgemeinen und hypothetischen Annahme einer gesetzmäßigen Beziehung von Planeten und Leben, für die die Erde der einzige bisher bekannte Anhaltspunkt ist.

Die Idee mehrerer grundlegender und primärer Organisationsformen des Lebens und die Idee des Lebens als planetare Erscheinung ergänzen und durchdringen einander bezüglich des *Prinzips der Evolution des Lebens*. In ihrer Verbindung entsprechen sie dem generellen Hinweis Lenins, dass „das allgemeine Prinzip der Entwicklung

8 K. M. Žavadskij, Osnovnye formy organizacii zivogo i podrazdelenija, in: Filosofskie problemy sovremennoj biologii, Moskva – Leningrad 1966, S. 22.
9 W. J. Vernadskij, Geochemie, Leipzig 1930, S. 87. Vernadskijs Begriff der lebenden Substanz bezeichnet „die Gesamtheit der lebenden Organismen, ausgedrückt durch das Gewicht ihrer Masse, durch die chemische Zusammensetzung und ihre Energie" (ebenda, S. 44.)

vereinigt, verknüpft, zusammengebracht werden (muß) mit dem allgemeinen Prinzip der *Einheit der Welt*, der Natur, der Bewegung, der Materie etc."[10] Im Lichte dieser Verbindung erweist sich die gegenwärtige konkrete Struktur der Systemhierarchie des Lebenden als Ergebnis ihrer Geschichte, des aus der Tiefe der Vergangenheit kommenden Prozesses der Evolution des Lebens, die mit seiner abiogenen Entstehung in der Geschichte der Erde begann. Die in diesem Prozess selbst begründete, aus der Wechselwirkung seiner Komponenten resultierende Differenz und Ungleichmäßigkeit von Teilprozessen bedingt die Existenz von Biosystemen unterschiedlicher Entwicklungs- und Organisationshöhe auf jeder Struktur. Sie repräsentieren unterschiedliche Stufen ihrer Entwicklung und Wege ihrer Geschichte.

Der Verbindung der drei Leitgedanken wohnen Konsequenzen für die Anwendung des Evolutionsprinzips inne, die auszuführen eine beträchtliche Erweiterung des Arbeitsgebietes der biologischen Evolutionsforschung bedeutet. Zugleich verweisen sie auf deren inneren Zusammenhang sowohl mit der biologischen System- und Evolutionsforschung als auch mit der Erforschung der Biosphäre als interdisziplinäres biowissenschaftliches und geowissenschaftliches Untersuchungsobjekt.

Leben als Daseinsweise einer im Teil wie im Ganzen spezifisch organisierten Systemhierarchie, als planetare Erscheinung und als selbsterhaltendes und selbsterzeugendes historisches Kontinuum der Evolution sind wesentliche allgemeine Charakteristika der *biotischen Bewegungsform der Materie*. Das Aufdecken der dem Leben innewohnenden *Widersprüche* lässt das Leben als *materielle Selbstbewegung* begreifen. Treffend schreibt Ju. M. Olenov: „Die lebende Natur bildet nicht nur in jedem Moment ihrer Entwicklung ein Ganzes, sondern entwickelt sich auch als Ganzes. Die Quelle ihrer Selbstbewegung sind innere Widersprüche; der Einfluß der abiotischen Umwelt, mit der sie in ununterbrochenem Zusammenhang steht, gewinnt manchmal sehr große Bedeutung, aber nur vermittelt durch die Veränderung der biozönotischen Beziehungen, z. B. bei krassen klimatischen Veränderungen. Das Fortschreiten der Evolution des Lebens erfolgt mit innerer Notwendigkeit, deren konkreter Ausdruck der konflikthafte Charakter der sich ständig umgestaltenden biotischen Beziehungen ist."[11]

Der Knotenpunkt, an dem der Weg der biologischen Forschung zu den innerorganismischen Strukturebenen (von den Organsystemen und Organen über die Gewebe, Zellen und innerzellulären Strukturen, wie Chromosomen oder Mitochondrien, bis zur molekularen Ebene) ebenso anfängt wie das Verfolgen des Netzwerkes innerartlicher, biozönotischer und biostromatischer Beziehungen, ist der „*Semaphoront*" (*Merkmalsträger*). Den Begriff des Semaphoronten hat W. Hennig eingeführt.[12]

10 W. I. Lenin, Philosophische Hefte, in: Werke, Bd. 38, Berlin 1981, S. 242.
11 Ju. M. Olenov, Nekotorye problemy evoljucionnoj genetiki i darvinizma, Moskva – Leningrad 1961, S. 148; vgl. G. Bartsch (Hrsg.), Der dialektische Widerspruch, Berlin 1986, S. 125-155.
12 Vgl. W. Hennig, Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik, Berlin 1950, S. 8-10.

Damit wird das unmittelbare sinnlich-gegenständliche Erkenntnisobjekt bezeichnet, an dem alle biologische Forschung beginnt. Es ist ein zeitlicher Ausschnitt aus der Individualentwicklung eines Organismus, dessen Eigenschaften und Beziehungen konstant sind. Streng genommen ist das zwar nie der Fall, aber praktisch ist der Semaphoront begrenzt durch das Verhältnis zwischen der Geschwindigkeit, mit der sich seine verschiedenen Eigenschaften und Beziehungen ändern, und dem Untersuchungsziel.

Geht man vom Semaphoronten aus, zeichnen sich *vier Hauptrichtungen biologischer Forschung* ab, die ihren Ausgang von vier generellen Aspekten des Semaphoronten nehmen und zu den verschiedenen Organisationsniveaus, Strukturen und Prozessen der lebenden Materie führen: *1*. die raum-zeitliche (morphophysiologische) enkaptische Organisation des Semaphoronten; *2*. die Zugehörigkeit des Semaphoronten zu einem Individual- und Ontogenesezyklus; *3*. die Zugehörigkeit des Semaphoronten zu überorganismischen (supraorganismischen) Systemen (Population und Art, Biozönose, Biostroma); *4*. die Stellung des Semaphoronten in der Evolution.

In der angegebenen Reihenfolge hebt jeweils der nachfolgende den vorhergehenden Aspekt dialektisch in sich auf, ohne ihm relative Eigenständigkeit und Erkenntniswert zu nehmen. Der zweite Aspekt bezieht den ersten zeitlich in sich ein, d. h., unter ihm werden zusammengehörige Semaphoronten als Teile eines Individual- und Ontogenesezyklus erfasst und erforscht. Der dritte Aspekt bezieht den zweiten räumlich in sich ein, der vierte schließlich den dritten wiederum zeitlich. Er übergreift die anderen drei Aspekte, die sich auf die Prozessfront der darüber hinausführenden Evolution beziehen, und integriert sie letztlich in sich. In den mit dem ersten und dem dritten Aspekt gegebenen Forschungsrichtungen findet der gedankliche Übergang zwischen den verschiedenen inner- und überorganismischen Strukturebenen statt. Er beruht drauf, dass die *Objekte der verschiedenen Strukturebenen* als *Systeme* oder als *Elemente von Systemen* aufgefasst werden können. So wird z. B. die Zelle in der Zytologie als System, in der Histologie aber als Element des Systems Gewebe aufgefasst. In den mit dem zweiten und vierten Aspekt gegebenen Forschungsrichtungen wird das reale Werden und Vergehen hinsichtlich der verschiedenen Strukturebenen und ihrer Objekte erfasst.

Insgesamt geht es um die *Erkenntnis der Gesetze der lebenden Materie* auf jeder Ebene und als Ganzes. Sie wird in den Beziehungen realisiert, die in bestimmten Problemsituationen zwischen einem Forschungsobjekt, dem über das Objekt vorhandenem empirische und theoretischen Wissen sowie der verfügbaren Forschungsmethodiken mit ihren Arbeitstechniken und Geräten bestehen.[13] Es sind sich entwickelnde Beziehungen.

13 Vgl. M. Gersch/D. Gersch, Das Objekt in der biologischen Forschung, in: Biologische Rundschau, 3/1977, S. 145-160; F. Jacob, Methodenentwicklung und Erkenntnisfortschritt in der Biologie, in: Biologische Rundschau, 6/1980, S. 325-329; R. Mocek, Methoden als Denkwege, in: Wissenschaft und Fortschritt, 8/1980, S. 303-307; S. M. Rapoport, Zur revolutionierenden Rolle von Methoden in der Wissenschaft, in: J. Schleifstein/E. Wimmer (Hrsg.), Plädoyers für einen

Wie sich *Erkenntnisfortschritte* am gleichen Objekt auf Grund von *Methodenfortschritten* – von der einfachen Beobachtung bis zum Experiment mit Registrierung, Messung und statistischer Sicherung – in der Physiologie vollziehen, exemplifiziert K. E. Rothschuh: „Beobachten wir das freigelegte Herz eines Frosches in situ, so gibt es vielerlei zu beobachten, zu beschreiben und zu deuten. Wir verbessern die Beobachtung qualitativ durch die Beobachtung des isolierten Herzens an der Kanüle. Eine wesentliche, weitere Verbesserung erfolgt, wenn Vorgänge graphisch registriert werden, vorausgesetzt, daß das Registrierverfahren den Anforderungen an naturgetreue Wiedergabe genügt. Deshalb war die Einführung des Kymographions durch Carl Ludwig (1846) so grundlegend bedeutsam. Aber auch diese Beobachtungssicherung genügt nicht; man ergänzt in jedem Falle die Registrierung durch eine Eichung und erhält so eine quantifizierte Beobachtung. Man wird sich schließlich nicht mehr mit einer einmaligen Registrierung und Messung begnügen, weil das Verhalten abweichend sein könnte. Nur eine Vielzahl von Beobachtungen unter statistischer Bearbeitung wird hinreichend gesicherte Ergebnisse über das Verhalten des isolierten Froschherzens unter bestimmten Bedingungen liefern."[14]

Wie sehr der Erkenntnisfortschnitt von den technischen Hilfsmitteln der Forschung abhängt, ist wohl nirgendwo so offenkundig wie an der Bedeutung, die die *Entwicklung des Mikroskops und des Mikroskopierens* für die Erforschung der Lebewesen besitzt.[15] Hat sie doch ganze, dem bloßen Auge verborgene Organismenreiche der Beobachtung ebenso erschlossen wie die innerorganismischen Organisationsniveaus der vielzelligen Lebewesen von den Geweben bis hinab zu den Makromolekülen.

Nicht minder bedeutsam ist angesichts der überwältigenden Vielfalt des Lebens die Problematik der *Forschungsobjekte*, an denen die dieser Vielfalt zugrundliegenden Gesetze erforscht werden. Jedes Gebiet experimenteller Lebensforschung hat *bevorzugte Organismengruppen*, denen seine Versuchsobjekte entstammen.[16] Vor allem an Taufliegen und Löwenmäulern, an Mehlmotten, Mäusen und Mais und seit einigen Jahrzehnten besonders an einigen Mikroorganismen, Bakteriophagen und anderen Viren wurde und wird Vererbungsforschung betrieben, die G. Mendel an Gartenerbsen begann. Und was wäre die Physiologie der Wirbeltiere (den Menschen eingeschlossen) ohne Frösche, Ratten, Mäuse, Kaninchen, Katzen und Hunde. Mehr noch: die Biologie *schafft* sich *Untersuchungsobjekte*, die weder in der Natur noch als Haustiere und Kulturpflanzen vorkommen. Für die Zwecke des Experimentierens werden eigens besondere

wissenschaftlichen Humanismus, Frankfurt/M. 1981; S. M. Rapoport, Die revolutionierende Rolle der Methoden in der Wissenschaft, in: Humanitas, 23/1981, S. 9.

14 K. E. Rothschuh, Prinzipien der Medizin, München Berlin (West) 1965, S. 82 f.

15 Vgl. W. Gloede, Vom Lesestein zum Elektronenmikroskop Berlin 1986.

16 Vgl. G. Müller/R. Kießig, Amphibien als Versuchstiere und Modelle in Biologie und Medizin, in: Biologische Rundschau, 2/1980, S. 84-94; G. Müller/R. Kießig, Amphibien in Genetik, Immunologie und Onkologie – Modellfunktionen in der Humanmedizin, in: Biologische Rundschau, 1/1981, S. 28-38; Ch. Schönfeld, Die Stachelhäuter als Objekt experimenteller Entwicklungsforschung, in: Urania, 5/1959, S. 161-165.

Rassen gezüchtet und unter ausgeklügelten Bedingungen aufgezogen; eine eigene Wissenschaft von den Laboratoriumstieren, die Versuchstierkunde, ist entstanden.[17] Noch deutlicher wird diese Tendenz in der Arbeit mit In-vitro-Kulturen, in denen lebende Zellen, Gewebe und Organe in Glasgefäßen auf Nährmedien kultiviert werden.

Die gesetzmäßige Einheit des Lebenden ermöglicht es, sich an solche Forschungsobjekte zu halten, bei denen man leichter zu experimentellen Ergebnissen gelangt und die verhältnismäßig wenig Aufwand an Zeit, Raum und Kosten erfordern. Dem steht aber die Vielfalt des Lebens auf allen Ebenen gegenüber, für die nicht alle an einem Objekt gewonnenen Aussagen von gleicher Gültigkeit sein müssen. Über Escherichia coli beispielsweise, dieses bevorzugte Objekt der Molekulargenetik, können auch Aussagen gemacht werden, die nur für sie gelten, und sogar nur für ein einziges Bakterien-Individuum. Die gleiche Sachlage ergibt sich bei allen biologischen Objekten: An einem Objekt gewonnene Aussagen haben unterschiedliche Gültigkeitsbereiche. Der Umfang ihrer Gültigkeit erweist sich im Vergleich in der Mannigfaltigkeit. Durch die vergleichende biologische Forschung auf allen Strukturebenen erfolgt die Synthese der immer wieder von neuem gesetzten Gegensätze zwischen dem Auffinden neuer Momente der Vielfalt und dem Vordringen zum Gesetzmäßig-Allgemeinen, wobei die Gesetzmäßigkeit der Mannigfaltigkeit selbst zum Vorschein kommt.

Gelegentlich wird die Meinung vertreten, die *Biologie* habe es mit Regeln zu tun, die nur mit Ausnahmen gelten, während sich die „exakten" Naturwissenschaften *Physik und Chemie* mit ausnahmslos gültigen Gesetzen befassen. In diesem Sinne werden z. B. die Mendelschen Vererbungsgesetze von manchen Autoren als „Mendelsche Regeln" bezeichnet. Das *Erkennen der Naturgesetze* schließt aber ein, ihre *Gültigkeitsbedingungen* zu bestimmen. Dadurch wird ausgegrenzt, was als Ausnahme erscheint.[18] Eben das geschieht durch die vergleichende Forschung. Gesetze und Bedingungen finden in die biologischen Theorien Eingang. In seiner klassischen Arbeit „Versuche über Pflanzen-Hybriden" schrieb Mendel: „Die Geltung der für *Pisum* aufgestellten Sätze bedarf allerdings noch der Bestätigung ... Ob die veränderlichen Hybriden anderer Pflanzenarten ein ganz übereinstimmendes Verhalten beobachten, muß gleichfalls erst durch Versuche entschieden werden; indessen dürfte man vermuten, daß in wichtigen Punkten eine prinzipielle Verschiedenheit nicht vorkommen könne, da die *Einheit* im Entwicklungsplan des organischen Lebens außer Frage steht."[19]

Die Mendelschen Gesetze sind in den Kontext der anfangs des 20. Jahrhunderts von Th. Boveri, W. Sutton u. a. begründeten Chromosomentheorie der Vererbung

17 Vgl. J. Kruml/I. Miler, Keimfreies Leben, Leipzig – Jena – Berlin 1979; G. Müller/R. Kießig, Einführung in die Versuchstierkunde, Bd. 1, Jena 1977; A. Spiegel, Versuchstiere, Jena 1975.
18 Vgl. R. Löther, Probleme des dialektischen Determinismus in Naturwissenschaft und Medizin in: Autorenkollektiv, Materialistische Dialektik und Medizin, Jena 1982, S. 64-68.
19 G. Mendel, Versuche über Pflanzen – Hybriden, in: J. Kruznecky (Hrsg.), Gregor Johann Mendel 1822-1884, Leipzig 1965, S. 58 f.

eingegangen. Hier wurden sie mit den inzwischen analysierten Grundvorgängen der Zellteilung und Befruchtung und dem Verhalten der Chromosomen in diesen Vorgängen in Beziehung gesetzt. Das führte zu dem Fazit, dass die in den Mendelschen Gesetzen formulierte Gen- und Allelverteilung durch die Rekombination verschiedener Chromosomen bei Meiose und Befruchtung zustande kommt.[20]

Von der Chromosomentheorie ausgehend konnten auch den Mendelschen Gesetzen nicht unterliegende Erscheinungen bei der chromosomalen Vererbung aufgeklärt werden. Zugleich wurde diese Theorie zur Voraussetzung, um Erbträgern außerhalb des Zellkerns auf die Spur zu kommen. Im Rahmen ihrer so eingegrenzten Geltungsbedingungen würden sich die von Mendel erkannten Gesetze „rein" und „ungestört" in idealen Populationen verwirklichen, die sehr oder praktisch unendlich groß sind, in denen unbeschränkte Panmixie, d. h. Gleichwahrscheinlichkeit aller möglichen Kreuzungen, gegeben ist, in denen keine Mutationen auftreten und die weder einer Selektion noch Populationsschwankungen oder einer genetischen Drift ausgesetzt sind. Solche idealen Mendel-Populationen gilt es freilich in der Natur so wenig wie einen idealen Festkörper oder ein ideales Gas, ideelle Modelle, mit deren Hilfe in der Physik Gesetze formuliert worden sind, die die Wirklichkeit begreifen lassen und sich im menschlichen Handeln bewähren.

Aus der Entwicklung der Biologie im 19. Jahrhundert wurden methodologische Schlussfolgerungen für das Verhältnis von Empirie und Theorie in der biologischen Forschung gezogen. Sie verallgemeinerten die Erfahrungen mit überschwenglichen naturphilosophischen Spekulationen, mit dem theoretischen und philosophischen Denken abholder empirischer Spezialforschung und mit der heuristischen Befruchtung der empirischen Forschung durch den Darwinismus. „So wenig Theorien wert sind ohne festen Boden, so wenig sind Tatsachen wert, die zusammenhanglos nebeneinander liegen. Ohne Hypothese und Theorie gibt es keine Naturforschung", erklärte Weismann 1885 vor der 58. deutschen Naturforscherversammlung. „Die Zeit ist vorüber, in der man glaubte, durch das bloße Sammeln von Tatsachen die Wissenschaft vorwärts zu bringen. Wir wissen, daß es nicht darauf ankommt, möglichst viele beliebige Facta anzuhäufen, gewissermaßen einen Katalog der Tatsachen anzulegen, sondern daß es sich darum handelt, *solche* Tatsachen festzustellen, deren Verbindung durch den Gedanken uns in den Stand setzt, irgend einen Grad von Einsicht in irgend einen Naturvorgang zu erlangen. Um aber zu wissen, auf welche *neue* Feststellungen es zunächst ankommt, ist es unerläßlich, das, was wir bereits davon besitzen, zu ordnen, zusammenzufassen und zu einer *theoretisch begründeten* Gesamtauffassung zu verbinden."[21]

Es sind die *Hypothesen und Theorien,* aus denen heraus die *Fragen* deduziert werden, die mit den Methoden der Beobachtung und des Experiments, des Vergleichs, der

20 Vgl. R. Hagemann u. a., Allgemeine Genetik, Jena 1984, S. 230 f.
21 A. Weisemann, Aufsätze über Vererbung und verwandte biologische Fragen, Jena 1892, S. 362 und 359.

Klassifikation, unter Einbeziehung von Modellen und mit der komplexen Methodik historischer Lebensforschung einer Beantwortung zugeführt werden. In diesem sich entwickelnden Gefüge wechselseitiger Beziehungen von empirischer und theoretischer wissenschaftlicher Arbeit realisiert sich die *Dialektik von objektiver*, *relativer und absoluter Wahrheit*. Dabei drängt die Bewegung des theoretischen Denkens in der Biologie zur Herausbildung einer *theoretischen Biologie*, die zur bisherigen Biologie weitgehend in ein analoges Verhältnis tritt, wie es zwischen experimenteller und theoretischer Physik besteht.[22]

Im Grunde sind es immer wieder vier allgemeine Fragen, die die Biologen angesichts irgendeiner der vielfältigen an den Organismen beobachtbaren Lebenserscheinungen zu beantworten haben. Es sind Fragen, die mit den vier generellen Aspekten des Semaphoronten verbunden sind und zur theoretischen Erklärung der Lebenserscheinungen hinführen:

1. die Frage nach dem Gefüge von Ursachen, Wirkungen und Bedingungen, von Strukturen und Prozessen, durch das die Erscheinungen existieren, die letztlich zu den molekularen Grundlagen der Lebenserscheinungen führt;

2. die Frage nach der Funktion, die die Erscheinungen im Leben der Organismen haben und die über die Wechselbeziehungen zwischen Organismus und Umwelt zur Integration der Organismen in genealogisch-genetische und ökologische Systeme und Prozesse führt;

3. die Frage, die die Erscheinungen in den Lebenslauf der Organismen einbezogen sind, in ihrer Ontogenese entstehen und vergehen;

4. die Frage, wie die Erscheinungen in der Organismenevolution entstanden sind, wobei die Frage nach der Funktion die Frage nach dem Selektionswert einer Erscheinung bedeutet.

Im Kontext dieser Fragen ist auch das vieldiskutierte Problem des *philosophischen Reduktionismus und der wissenschaftlichen Reduktionen* in der Biologie zu sehen, das darauf hinausläuft, ob sich die Biologie auf Physik und Chemie reduzieren lasse oder nicht.[23]

22 Vgl. F. I. Girenok, Teoretičeskaja biologija i biotechnologija, in: Voprosy filosofii, 3/1987, S. 53-65; G. Peters, Wie steht es um die theoretische Biologie?, in: Wiss. Zeitschr. der Humboldt-Univ., Math.-Nat. R., 3/1982, S. 255-262.

23 Th. Dobzhansky/E. Boesiger/D. Sperlich, Beiträge zur Evolutionstheorie, 1980, S. 9-26; A. Kornberg, Understanding Life as Chemistry, in: K. J. Isselbacher (ed.), Medicine, Science and Society, New York – Brisbans – Toronto – Singapore 1984; B. O. Küppers (Hrsg.), Leben = Physik + Chemie?, München – Zürich 1987; R. Löther, Das Reduktionismusproblem in der Biologie, Berlin 1979; E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, a. a. O., S. 49-52; U. Schubert, Die Dialektik von reduktivem und integrativem Herangehen in der Neurowissenschaft, in: Materialistische Dialektik und Medizin, a. a. O., S. 89-107; T. S. Wassiljewa/W. W. Orlow, Die Dialektik der Wechselwirkung von Chemie und Biologie in der Geschichte der Wissenschaft, in: Sowjetwissenschaft/Gesellschaftswissenschaftliche Beiträge, 2/1983, S. 252-261.

Die Beantwortung der ersten Frage führt die Forschung vom Gesamtorganismus zur Wechselwirkung immer elementarerer Bestandteile seines hierarchischen Aufbaus. Es ist der Weg, bei dem die Lebenserscheinungen auf chemische und physikalische Gesetze zurückgeführt werden. Leben erweist sich hier letztlich als Wechselwirkung von Atomen, Ionen und Molekülen gemäß chemischer und physikalischer Gesetzlichkeit. Aber nicht jede Wechselwirkung von Atomen, Ionen und Molekülen gemäß chemischer und physikalischer Gesetzlichkeit ist Leben. Vielmehr ist es eben eine teilweise Verwirklichung des chemisch und physikalisch überhaupt Möglichen unter Ausschluss anderer Möglichkeiten. „Leben ist eine teilweise, kontinuierliche, fortschreitende, vielgestaltige und unter bestimmten Bedingungen wechselnde Selbstverwirklichung der Möglichkeiten, die durch die der Elektronen von Atomen gegeben sind."[24] Mit dieser Lebenscharakteristik kennzeichnet J. D. Bernal den *Zusammenhang zwischen der physikalischen und chemischen Bewegung der Materie und ihrer biotischen Bewegung*, in der physikalische und chemische Bewegung zu höhere Einheit integriert sind.

Physikalische und chemische Gesetze sind für die nichtlebende wie für die lebende Natur gleichermaßen gültig, d. h., vom Standpunkt der Physik und Chemie ist der Unterschied von lebender und nichtlebender Natur zunächst gleichgültig. So gibt es beispielsweise zwischen den in Lebewesen, in der nichtlebenden Natur oder auch in den Anlagen der chemischen Industrie vorkommenden Stoffen wohl Unterschiede, aber keine Unterschiede, die nicht mit den Methoden und Begriffen der Chemie erfassbar wären. Die Allgemeingültigkeit physikalischer und chemischer Gesetze *schließt die idealistisch-vitalistische Lebensdeutung* mit Hilfe immaterieller Agentien aus der Wissenschaft *aus*, da dies den Gesetzen der Physik widerspricht – neben dem Energieerhaltungsgesetz insbesondere dem Impulssatz in seiner vektoriellen Fassung, der eine Veränderung der Bewegungsrichtung eines Teilchens ohne materielle Einwirkung ausschließt. Der Physiker und Chemiker aber, der sich des Lebens als einer besonderen Verwirklichung des physikalisch und chemisch überhaupt Möglichen annimmt, überwindet die Gleichgültigkeit von Physik und Chemie gegenüber dem Unterschied von lebender und nichtlebender Natur, er begibt sich als Biophysiker und Biochemiker auf den Standpunkt der *Biologie*, die nach dem *Wesen des Lebens* fragt.

In der Antwort auf die Frage nach dem Wesen des Lebens ist das Zurückführen der Lebenserscheinungen auf physikalische und chemische Gesetze nur ein Teil der Wahrheit. Der Standpunkt des Biologen schließt ein, daß die Lebenserscheinungen nicht nur bis auf die Wechselwirkung von Atomen, Ionen und Molekülen zurückgeführt werden, sondern auch die drei anderen oben genannten Fragen bereits hinsichtlich der Moleküle in ihrer Eigenschaft, Bestandteile des Organismus zu sein, gestellt werden und von ihnen aus der Weg zum Gesamtorganismus und darüber hinaus gegangen wird, der das tiefere Verständnis der hier

24 J. D. Bernal, The Origin of Life, London 1967, S. 168.

beobachtbaren Phänomene des Lebens bedeutet. *Leben ist spezifisch raum-zeitliche Selbstorganisation von Materie im physikalisch-chemischen Möglichkeitsfeld, in dem sich unter besonderen Bedingungen seine spezifischen Gesetze verwirklichen*. Unter anderen Bedingungen verwirklichen sich die Gesetze der nichtlebenden Natur, mit denen sich astronomische und geowissenschaftliche Disziplinen befassen. Analog zum Biophysiker und Biochemiker gibt es dort den Astrophysiker und Geophysiker, den Kosmoschemiker und Geochemiker. Nicht immaterielle Agentien, sondern *für das Leben spezifische objektive Naturgesetze* bestimmen seine qualitativen Grenzen als besondere Bewegungsform der Materie. Solche Gesetze sind beispielsweise das Redische Prinzip „Omne vivum o vivo"[25], die Mendelschen Vererbungsgesetze, das Hardy-Weinberg-Gesetz, das Darwinsche Prinzip der natürlichen Selektion im Ringen um die Existenz oder das „Zentrale Dogma der Molekularbiologie", nach dem die Übertragungsrichtung der genetischen Information von den Nukleinsäuren zu den Proteinen und nicht umgekehrt verläuft.

Unter den oben genannten Fragen beziehen sich die ersten drei auf das Leben in seiner Gegenwärtigkeit, die vierte auf die historische Entwicklung des Lebens, die seine Gegenwart als Prozessfront der seit einigen Milliarden Jahren andauernden Evolution einbezieht. Damit geht die vierte über die ersten drei Fragen hinaus. Die auf die ersten drei Fragen gegebenen Antworten werden letztlich in die Beantwortung der vierten Frage einbezogen. Die Erkenntnis des gegenwärtigen Lebens und die Erkenntnis seiner Vergangenheit bedingen sich gegenseitig.

Der Erkenntnisweg, der zum zeitlichen Nacheinander in der Vergangenheit führt, beginnt in der Gegenwart, beim räumlichen Nebeneinander und Zusammenhang heutiger Dinge, Erscheinungen und Prozesse, bei den Strukturen der gegenwärtigen, sinnlich wahrnehmbaren Wirklichkeit. Das Nacheinander der Vergangenheit erschließt sich aus dem Vergleich der Dinge und Erscheinungen sowie ihrer darauf fußenden Klassifikation in einem natürlichen Klassifikationssystem. Ein solches natürliches Klassifikationssystem der Organismenarten zu erarbeiten, ist Aufgabe der „Systematik" oder „Taxonomie" genannten biologischen Teilwissenschaft.

2. Taxonomie und Phylogenetik

Die Vielfalt der Organismen bildet eine gradweise abgestufte Mannigfaltigkeit, wie sie S. Tschulok charakterisiert hat: „... ähnlich, aber doch nicht gleich; verschieden, aber doch wieder mit manchen gemeinsamen Eigenschaften behaftet. Das ist die Eigenart der gradweise abgestuften Mannigfaltigkeit."[26] Die *Taxonomie* (*Systematik*) ist die Wissenschaft, die diese Mannigfaltigkeit vergleichend, klassifizierend und das Klassifizierende benamend geistig bewältigt. Das Ergebnis ist ein hierarchisch auf-

25 Alles Lebende entsteht nur aus Lebendem.
26 S. Tschulok, Deszendenzlehre, Jena 1922, S. 113.

gebautes Klassifikationssystem, in dem die Klassifikate niedereren Ranges in solche höheren Ranges eingeschlossen sind. So gehört die Art Buschwindröschen (Anemon nemorosa) mit anderen Anemonen-Arten zur Gattung Windröschen. Mit weiteren Gattungen bildet diese die Familie Hahnenfußgewächs (Ranunculaceae), von der 47 Gattungen mit fast 2000 Arten bekannt sind. Die Hahnenfußgewächse sind Bestandteile der Ordnung Hahnenfußartige (Ranunculales) aus der Unterklasse Vielfrüchtige (Polycarpicae) der Klasse Zweikeimblättrige (Dicotyledoneae). Diese sind in der Unterabteilung Bedecktsamer (Angiospermae) in der Abteilung Samenpflanzen (Spermatophyta) des Pflanzenreiches enthalten.

Buschwindröschen, Windröschen, Hahnenfußgewächse usw. sind „Taxa" oder „Sippen" genannte Organismengruppen, während Art, Gattung, Familie usw. taxonomische (systematische) Kategorien sind. Diese Kategorien geben den Rang der Taxa im Klassifikationssystem an, der sich aus ihrem Platz zwischen den darunter und darüber liegenden Rangstufen ergibt. So ist die Organismengruppe Buschwindröschen durch die Zuordnung zur Artkategorie als Arttaxon, als Art ausgewiesen, bildet die Artengruppe der Hahnenfußgewächse ein Familientaxon. Jedes Taxon steht auf Grund seiner Plazierung im Klassifikationssystem in bestimmten Beziehungen mit unter-, über- und nebengeordneten Taxa, besitzt eine engere oder weitere „systematische Verwandtschaft" mit ihnen. Beispielsweise sind die Arten einer Gattung enger systematisch miteinander verwandt als mit den Arten einer anderen Gattung der gleichen Familie.

Der Erkenntnisfortschritt der Systematik bei der geistigen Beherrschung der gradweise abgestuften Mannigfaltigkeit der Organismenwelt manifestiert sich in den mehr oder minder großen Umgestaltungen des Klassifikationssystems im Laufe der Wissenschaftsentwicklung. Ihre tiefgreifendste Umgestaltung hat in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts begonnen. Bis zur Jahrhundertmitte hatte sich die *Konzeption von zwei Organismenreichen*, dem *Pflanzenreich* und dem *Tierreich*, gehalten, denen alle weiteren Taxa ausschließlich eingeordnet wurden, die Pilze, z. B. dem Pflanzenreich und die Bakterien, auch als „Spaltpilze" bezeichnet, den Pilzen. Zwar hatte E. Haeckel in seiner „Generellen Morphologie" (1866) und späteren Schriften ein weiteres Reich, das der Protisten, der einzelligen Lebewesen, neben den Reichen der Pflanzen und der Tiere postuliert. Auch hatten im 19. Jahrhundert Mykologen dafür plädiert, ein eigenes Reich der Pilze anzuerkennen. Doch konnte das die uralte Tradition der Zwei-Reiche-Konzeption nicht ernstlich erschüttern.

Erst große Fortschritte der Elektronenmikroskopie, Mikrobiologie und Molekularbiologie ließen diese Konzeption überwinden und Entwürfe vorlegen, die die Systematik der obersten Taxa grundlegend erneuern. Als ein Resumé der bisherigen einschlägigen Befunde und Diskussionen wird im sowjetischen „Biologischen enzyklopädischen Wörterbuch" folgende Großsystematik der Lebewesen vorgestellt[27]:

27 Vgl. Sistema organismov, in: M. C. Giljarov (Glavnyj redaktor), Biologieskij enciklopedičeskij slovar, Moskva 1986, S. 578.

A. Überreich Vor-kernhaltige Organismen oder Prokaryoten (*Procaryoten*)
I. Reich Bakterien (Bacteriobiota; Bacteria)
1. Unterreich Bakterien (Bacteriobionta)
II. Reich Archäbakterien (Archaebacteria, Archaebacteriobiota)
B. Überreich Kernhaltige Organismen oder Enkaryoten (*Encaryota*)
I. Reich Tiere (Animalia, Zoobiota)
1. Unterreich Urtiere (Protozoa, Protozoobionta)
2. Unterreich Vielzeller (Metazoa, Metazoobionta)
II. Reich Pilze (Gungi, Nycobiota, Mycetalia oder Mycota)
III. Reich Pflanzen (Vegetabilia, Phytobiota oder Plantae)
1. Unterreich Rotalgen (Rhodobionta)
2. Unterreich Echte Algen (Phycobionta)
3. Unterreich Höhere Pflanzen (Embryobionta)

„Die ‚Systematik' ist von jeher als ‚uninteressant' verschrien; aber in diesem Apparat von Einteilungen und Unterteilungen besitzt die Wissenschaft ein vorzügliches Mittel, um Urteile über Eigenschaften von Gruppen abzugeben, ohne der stets lauernden Gefahr der unzulässigen Verallgemeinerung zu verfallen... Im Fachwerk der Taxonomie stellt sich uns die gehäufte Erfahrung der Generationen von Forschern zur Verfügung, um uns eine kritische Selbstprüfung zu ermöglichen. Und dieser Apparat ist die notwendige Vorbedingung zur ersprießlichen Behandlung der ‚interessanten' Probleme der Morphologie, Oekologie u. a.", betont Tschulok[28], wobei heute neben Morphologie und Ökologie auch die Molekularbiologie zu nennen ist.

J. Acivy begründete im 17. Jahrhundert die Systematik, als er die *Klassifikation der Lebewesen* als eigene Forschungsaufgabe erkannte. Er führte den *Artbegriff* als taxonomischen Fachausdruck ein und lehrte zugleich die Konstanz der Arten, deren es so viele gebe, wie sie Gott geschaffen habe. Sein Zeitgenosse *J. P. de Tournefort* veröffentlichte ein Klassifikationssystem der Pflanzen, wobei er sich besonders darauf konzentrierte, das Gemeinsame der *Gattungen* herauszustellen. Aus dem Verhältnis zwischen der Artkonzeption Rays und den Gattungscharakteristiken Tourneforts ergab sich ein Problem. Es war mit dem Verhältnis zwischen der in den gemeinsamen Merkmalen zum Ausdruck kommenden wesentlichen Einheit der Gattung einerseits und den feststehenden, unverrückbaren Grenzen zwischen den Arten im Sinne Rays andererseits gegeben. Mit diesem Problem sah sich C. V. Linné konfrontiert.

Linné schuf nicht nur sein künstliches Sexualsystem der Pflanzen, (wobei er Arten und Gattungen als naturgegebene Einheiten verstand), er erkannte auch die prinzipielle Aufgabe der Systematik, ein durchgängig aus naturgegebenen Einheiten aufgebautes, *natürliches Klassifikationssystem* der Lebewesen zu schaffen. Diese Aufgabenstellung schloss die Entdeckung Linnés ein, dass die Organismen auf Grund ihrer gemeinsamen und unterscheidenden Merkmale insgesamt als gradweise abgestufte Mannigfaltigkeit

28 S. Tschulok, Deszendenzlehre, a. a. O., S. 16 f.

existieren. Diese Sachlage konnte sich Linné nur erklären, indem er die Konstanz der Arten preisgab, die er zunächst entschieden verfochten hatte. Statt dessen gelangte er zu der Ansicht, dass Gott weniger Arten erschaffen habe, als heute existieren. Dazu gebe es Arten, die „Töchter der Zeit" seien. Die zuerst erschaffenen Arten hätten sich untereinander gekreuzt und auf diese Weise gleiche und verschiedene Nachkommen hervorgebracht, die sich wiederum durch Kreuzungen untereinander in gleichen und ungleichen Nachkommen fortpflanzten. Dadurch sei die abgestufte Ähnlichkeit entstanden und auf diese Weise würden immer noch neue Arten entstehen.

In dieser phantasievollen und für ihre Zeit kühnen Hypothese zeichnete sich bereits jene Richtung der Gedanken ab, die schließlich zur *Phylogenetik* führte. Ob die verschiedenen Arten von Lebewesen unabhängig voneinander auf der Erde aufgetreten sind bzw. erschaffen wurden oder ob sie aus anderen Arten entstanden sind – das war die grundlegende Frage, die das Denken von Naturforschern und Philosophen zwischen Linné und Darwin bewegte und auch zu mancherlei spekulativen naturphilosophischen Entwicklungsvorstellungen so genannter Vorläufer Darwins führte. Währenddessen schufen Forscher wie B. und A. L. de Jussieu, A. P. de Candolle, G. L. L. de Buffon, K. B. Lamarck, G. de Cuvier, J. W. v. Goethe, K. E. v. Baer und A. v. Humboldt unbeschadet ihrer differierenden Einstellungen zum Entwicklungsgedanken mit den Grundlagen der natürlichen Systematik, der vergleichenden Anatomie und Embryologie sowie der Biogeographie und der Paläontologie naturwissenschaftliche Fundamente der Phylogenetik auf den Gebieten der Biologie und der Geologie. Große Bedeutung gewann die Unterscheidung zwischen der *analogen Ähnlichkeit*, die an die ähnlichen Funktionen organismischer Strukturen geknüpft ist, und der *homologen Ähnlichkeit* des Aufbaus organismischer Strukturen auch bei sehr verschiedenen Funktionen. Weiter erwies sich das Vorkommen von homologen Strukturen, von Homologie, in den Taxa als sehr eng korreliert, so dass im Ergebnis vergleichender Untersuchungen morphologische „Baupläne" oder „Typen" von Taxa entworfen werden konnten. Davon ausgehend wurden die Konturen der gradweise abgestuften Mannigfaltigkeit im Zusammenwirken von Morphologie und natürlicher Systematik zur Darstellung gebracht.[29]

Im natürlichen System der Organismen fand sie ihre erste begriffliche Widerspiegelung; als ihre Erklärung entstand die *Deszendenztheorie* (*allgemeine Abstammungstheorie*).

Durch die Deszendenztheorie wird die gradweise abgestufte Mannigfaltigkeit der Lebewesen auf ihre abgestufte Abstammung von gemeinsamen Vorfahren (Vorfahrensarten), die vor ihnen auf der Erde gelebt haben, und ihre Entwicklung auf

29 Vgl. W. Baron, Methodologische Probleme der Begriffe Klassifikation und Systematik sowie Entwicklung und Entstehung in der Biologie, in: A. Diemer (Hrsg.), System und Klassifikation in Wissenschaft und Dokumentation, Meisenheim am Glan 1968; A. Remane, System und Klassifikation in der Biologie, ebenda.

sich verzweigenden Wegen zurückgeführt. Die Wahrheit dieser Erklärung ist an die Wahrheit von vier grundlegenden Voraussetzungen gebunden, die sämtlich gesicherte Erkenntnisse sind und *objektive Naturgesetzlichkeit* widerspiegeln:

- der lückenlose, ununterbrochene Zusammenhang, die *Kontinuität des Lebens auf der Erde* seit seiner abiogenen Entstehung aus nichtlebender Materie, der durch die Fortpflanzung vermittelt wird (Redisches Prinzip „Omne vivum e vivo“);
- die *Kontinuität der spezifischen Organisation der Lebewesen*, die auf der Weitergabe der genetischen Information bei der Fortpflanzung beruht;
- die *genetische Variabilität der Organismen*, die auf Mutationen der materiellen Erbträger zurückgeht;
- ein Vorgang, durch den genetische Unterschiede der Individuen ausgewählt, die einen eliminiert, die anderen aber aufbewahrt, akkumuliert und kombiniert werden, so dass in der Generationenfolge große Unterschiede in der Organisation der Lebewesen entstehen können. Diesen entscheidenden Vorgang entdeckte Darwin mit der *natürlichen Auslese* (*Selektion*) im Ringen der Lebewesen um ihre Existenz.

Die beiden ersten Voraussetzungen beziehen sich auf die *Reproduktion des Lebens*. Die Widerlegung der Urzeugungsvorstellungen, die von F. Redi – nach dem Vernadskij das Prinzip „Omne vivum e vivo“ benannt hat – im 17. Jahrhundert in die Wege geleitet und durch L. Pasteur im 19. Jahrhundert zu Ende gebracht wurde, sowie anderer spekulativer Vorstellungen über die Entstehung von Lebewesen war entscheidend für ihre Erkenntnis. Dadurch wurde auch die wissenschaftliche Fragestellung nach der abiogenen Entstehung des Lebens ermöglicht, wie sie der modernen mit A. I. Oparin beginnenden Biogeneseforschung zugrunde liegt. Wie die Reproduktion des Lebens stattfindet, wurde von Zytologie, Genetik und Molekularbiologie immer tiefgehender aufgeklärt, seit F. V. Raspail 1825 den Satz „Omnis cellula e cellula“[30] aufstellte, der durch R. Virchows „Zellularpathologie“ (1859) allgemein bekannt wurde, und seit O. Hertwig 1875 erstmals die mikroskopische Beobachtung des Befruchtungsvorganges an Seeigeleiern gelang und er 1890 beim Pferdespulwurm den Gesamtvorgang der Reifung von Ei- und Samenzellen beschreiben konnte. Mit der Einsicht in die Universalität des Kodes der im Genom aller Lebewesen gespeicherten genetischen Information und dem „Zentralen Dogma der Molekularbiologie“ fanden diese Voraussetzungen der Deszendenztheorie ihre molekularbiologische Begründung. Auch für die dritte Voraussetzung führte die Molekularbiologie zu gesicherten vertieften Einsichten, während das Darwinsche Selektionsprinzip alle Prüfungen fortschreitender Wissenschaftsentwicklung bestanden hat und in ihr bekräftigt und differenziert ausgearbeitet wurde.

Bereits vor mehr als 100 Jahren sagte Weismann über die Deszendenztheorie: „Nicht nur gewinnen zahlreiche Tatsachen erst in ihrem Licht Sinn und Bedeutung, nicht nur fügt sich unter ihrem Einfluß alles, was bis jetzt an Tatsachen vorliegt, zu

30 Jede Zelle entsteht aus einer Zelle.

einem harmonischen Gesamtbild zusammen, sondern auf einzelnen Gebieten hat sie sogar schon das Höchste geleistet, was von einer Theorie überhaupt erwartet werden kann; sie hat es möglich gemacht, *Tatsachen vorauszusagen*, nicht mit der absoluten Sicherheit der Rechnung, aber doch immerhin mit einem hohen Grad von Wahrscheinlichkeit. Man hat es vorausgesehen, daß der Mensch, der im erwachsenen Zustand bekanntlich nur 12 Rippen besitzt, im embryonalen deren 13-14 haben würde; man hat es vorausgesehen, daß er in derselben frühesten Periode seiner Existenz den unscheinbaren Rest eines kleinen Knöchelchens in seiner Handwurzel haben würde, das so genannte Os centrale, das seine weit in grauer Vorzeit zurückliegenden Ahnen in erwachsenem Zustande besessen haben müssen. Beide Voraussagen trafen ein, ähnlich wie seiner Zeit der Planet Neptun entdeckt wurde, nachdem man seine Existenz aus den Störungen in der Bahn des Saturns vorausgesagt hatte.

Daß die heutigen Arten von anderen ... abstammen; daß sie nicht selbständig entstanden sind, sondern sich aus andern entwickelt haben, und daß im Allgemeinen diese Entwicklung vom Einfacheren zum Verwickelteren stattgefunden hat, das dürfen wir mit derselben Bestimmtheit behaupten, mit welcher die Astronomie behauptet die Erde bewege sich um die Sonne ..."[31]

Mit Ray, der die Erschaffung und Konstanz der Arten gelehrt hatte, begann ein wissenschaftsgeschichtlicher Prozess, der schließlich in der Gegenposition mündete; denn: „Wer sich zu dem Glauben entschließt, Gott habe alle biologischen Arten einzeln in dem Zustand erschaffen, in dem wir sie heute sehen, sie aber so gestaltet, daß sie uns ausgerechnet zu dem Schluß verleiten, sie seien Erzeugnis einer evolutiven Entwicklung – ist offensichtlich Argumenten nicht zugänglich. Alles, was man hier sagen kann, ist, daß dieser Glaube eine blinde Blasphemie ist, denn er schreibt Gott erschreckende Verirrungen zu."[32]

Indem die Deszendenztheorie die Mannigfaltigkeit der gegenwärtigen Organismenwelt als Ergebnis von Deszendenz und Evolution in der Vergangenheit erklärt, erschließt sie das Stattfinden der Evolution des Lebens und damit der Phylogenetik ihr Forschungsgebiet. Die *Evolution des Lebens* ist *theoretisch erschlossene Wirklichkeit*, der Zugang zu ihr führt über die Deszendenztheorie. Mit dieser sind zwei weiterführende Problemfragen verbunden: *1*. die Frage nach *konkreten Wegen und Verlaufsformen*, die die Organismenevolution in der Vergangenheit genommen hat, und *2*. die Frage nach den *Faktoren*, *bewegenden Kräften und Gesetzmäßigkeiten* dieser Evolution.

Die erste Frage wird durch die von E. Haeckel begründete *historische Phylogenetik* beantwortet, die zur *ideellen Rekonstruktion der vergangenen Evolution* führt. Ihre Ergebnisse werden in konzentrierter Weise in „Stammbäumen" graphisch dargestellt[33],

31 A. Weismann, Aufsätze über Vererbung und verwandte biologische Fragen, a. a. O., S. 309 f.
32 Th. Dobzhansky, Dynamik der menschlichen Evolution, Frankfurt/M. 1965, S. 21.
33 Vgl. A. Ermisch, Ernst Haeckel, Darstellung der Phylogenese durch Stammbäume, in: B. Wilhelmi (Hrsg.), Leben und Evolution, Jena 1985.

die das natürliche Klassifikationssystem der rezenten Organismenwelt durch deren historische Dimension untersetzen. Die Beantwortung der zweiten Frage macht den Inhalt der *biologischen Evolutionstheorie* aus, die auf den von Darwin gelegten Fundamenten weiterentwickelt wird. Historische Phylogenetik und Evolutionstheorie setzen beide die Deszendenztheorie voraus und bedingen und stimulieren sich in ihrer Entwicklung wechselseitig. In der Einheit von Deszendenztheorie, historischer Phylogenetik und Evolutionstheorie werden die Fragen nach dem Ob, Wie und Warum der Evolution des Lebens durch die Anwendung der historischen Methoden in der Biologie beantwortet. Als „Abstammungslehre" oder „biologische Evolutionslehre" gelangen sie zur Darstellung. Die Phylogenetik, die sich zunächst auf die Organismenevolution bezog, wird zur umfassenden biologischen Teilwissenschaft von der Evolution des Lebenden im Beziehungsgefüge der Biosphäre ausgebaut.

Von *antievolutionistischer Seite* wird der Phylogenetik gern entgegengehalten, sie sei haltlos, da sie insgesamt auf einem logischen circulus vitiosus beruhe. So meinte der dem Neothomismus verbundene Paläontologe O. Kühn: „Die Ähnlichkeit der organischen Naturformen erklärte man durch Entwicklung, diese wieder bewies man durch die abgestufte Ähnlichkeit. Daß man hier einem Zirkelschluß zum Opfer fiel, wurde kaum bemerkt; das, was man beweisen wollte, daß nämlich Ähnlichkeit auf Entwicklung beruhe, setzte man einfach voraus und machte dann die verschiedenen Grade, die Abstufung der (typischen) Ähnlichkeit, zum Beweis für die Richtigkeit der Entwicklungsidee."[34] Ähnlich hält O. Rieppel, der sich hauptsächlich auf die Wissenschaftsphilosophie K. Poppers beruft, die biotische Evolution für eine unbewiesene und unbeweisbare Hypothese, für eine Gedankenkonstruktion, die nicht der Naturwissenschaft sondern der Metaphysik zugehöre. Der Schöpfungslehre gegenüber habe sie nur den Vorzug, plausibel und rational diskutierbar zu sein. Auch Rieppel will in der Phylogenetik den Zirkelschluss bemerkt haben: Von der Annahme einer Evolution ausgehend werde nach Ordnungsmustern in der Natur gesucht, die ihrerseits die Tatsache der Evolution belegen sollen.[35]

Zirkelschlüssigkeit, wie sie Kuhn und Rieppel der Phylogenetik unterstellen, gibt es allerdings in nicht wenigen Darstellungen der Abstammungslehre. Einerseits werden Befunde der vergleichenden Anatomie, Embryologie und Verhaltensforschung, Serologie und Biochemie, der Biogeographie und Paläontologie, u. a. allgemein homologe Ähnlichkeiten verschiedenartiger Lebewesen, als „Beweise" für die Organismenevolution vorgeführt. Andererseits wird eben diese Ähnlichkeit mit der Evolution erklärt, wird Homologie gerade dadurch definiert, dass es sich um Strukturmerkmale bei den Individuen von zwei oder mehr Taxa handele, die sich auf ein Strukturmerkmal eines

34 O. Kuhn, Die Deszendenz-Theorie, Bamberg 1947, S. 15.

35 Vgl. O. Rieppel, Kladismus oder die Legende vom Stammbaum, Basel – Boston – Stuttgart 1983; vgl. die Rezensionen von R. Löther/G. Peters, in: Deutsche Literaturzeitung 10-11/1985, Sp. 784-786, und S. Lorenzen, in: Spektrum der Wissenschaft 7/1984, S. 134 f.

gemeinsamen stammesgeschichtlichen Vorfahren dieser Taxa zurückverfolgen und von ihm ableiten lassen (wobei dieser Nachweis selbstverständlich in jedem konkreten Falle zu erbringen ist).

Doch wenn die Existenz der Homologien als „Beweis" für die Evolution ausgegeben wird, bedeutet dies lediglich, dass zum Nachweis eines objektiven Sachverhaltes eine falsche Argumentation benutzt wird. Gegen den Sachverhalt besagt das gar nichts; ebensowenig wie gegen die Bedeutung der Homologien für den Nachweis von bestimmten konkreten stammesgeschichtlichen Verwandtschaftsbeziehungen. Nur setzt dies voraus, dass die Evolution des Lebens nachgewiesen ist.

Die *korrekte Beweisführung für die Evolution* aber enthält *keinerlei Zirkelschlüssigkeit.* Mit grundsätzlicher Klarheit wurde sie wohl zuerst von Tschulok formuliert: „Wir können die gradweise abgestufte Mannigfaltigkeit der Organismen mit den anderen Erfahrungen 1) der Elternzeugung (organischen Kontinuität), 2) der Kontinuität der spezifischen Organisation und 3) der Variabilität nur dann in widerspruchsfreier Weise zu einer einheitlichen Erkenntnis verarbeiten, wenn wir annehmen, daß jene gradweise Abstufung in der Mannigfaltigkeit das Ergebnis einer ebenso gradweise abgestuften Blutsverwandtschaft darstellt; das heißt – wenn sich jener gegenwärtige Zustand der Tier- und Pflanzenwelt aus jener im Laufe unermeßlich langer Perioden stattgehabten schrittweisen Umbildung ergeben hat."[36]

Durch den seit Tschuloks wissenschaftslogischen Untersuchungen erreichten Entwicklungsstand der Biologie sind genauere Aussagen möglich, wie sie oben als Prämissen der Deszendenztheorie angegeben wurden. Wenn er seinerzeit peinlich vermied, Termini wie „Mutation" und „Selektion" in seine Argumentation aufzunehmen und statt dessen zurückhaltend formulierte, „daß individuelle Abweichungen vereinzelt doch vorkommen", oder dass eine quantitative Kumulation solcher Abänderungsschritte im Laufe langer Zeiträume große Abweichungen von der Ausgangsform ergibt, so besteht zu solch vorsichtiger Umschreibung heute wahrlich kein Grund mehr.

Die *Fossilien* kommen in der Beweisführung der Deszendenztheorie nicht vor. G. Heberer hat darauf hingewiesen: „Logisch ist die Deszendenztheorie nicht abhängig vom urkundlichen Nachweis der Phylogenie durch Fossilien."[37] In der Tat ergibt sich aus den Fossilien im Konnex der ideellen Rekonstruktion der Erdgeschichte mittels der historischen Methode durch die geologischen Wissenschaften eine zusätzliche Bestätigung der Deszendenztheorie. Ihr Vorhandensein in der Schichtenfolge der Erdrinde führt letztlich zur gleichen Fragestellung wie die gegenwärtige gradweise abgestufte Mannigfaltigkeit der Organismen und damit zur Deszendenztheorie, nachdem sie im Vergleich mit Gegenwärtigem als Spuren einstigen Lebens identifiziert sind. Die *historische Geologie* erschließt unabhängig von der Phylogenetik auf logisch gleiche Weise die Geschichtlichkeit der Erde und damit ebenfalls ihren Gegenstand,

36 S. Tschulok, Deszendenzlehre, a. a. O., S. 141.
37 G. Heberer, Charles Darwin, Stuttgart 1959, S. 29.

dadurch aber Raum und Zeit der Evolution der Organismen in der Vergangenheit. Die *Paläontologie* steht zwischen historischer Geologie und Phylogenetik, indem sie jenen Zeitmarken für die relative Chronologie der Erdgeschichte und zugleich dieser Material für die historische Phylogenetik liefert. So gleichgültig sich die Deszendenztheorie zu den Fossilien verhält, so wichtig werden sie für die historisch-genetische Rekonstruktion der Vergangenheit des Lebens.

Aus der deszendenztheoretischen Aufhellung des Ursprungs der Organismusmannigfaltigkeit ergibt sich: „Die systematische Verwandtschaft" der verschiedenen Taxa auf Grund ihrer Stellung im natürlichen Klassifikationssystem ist ihrem Wesen nach Ausdruck von realer stammesgeschichtlicher, genealogischer Verwandtschaft. Diese wird auf einem gegebenen Entwicklungsstand der Systematik mehr oder minder zutreffend erfasst. Daraus folgt für die Systematik die methodologische Konsequenz, das natürliche Klassifikationssystem bewusst zum phylogenetischen System weiterzuentwickeln und – von der Analyse der stammesgeschichtlichen Verwandtschaft der Arten ausgehend – die stammesgeschichtliche Verwandtschaft der Taxa im Klassifikationssystem abzubilden. Das ist der Weg, auf dem das natürliche Klassifikationssystem der Organismen die volle Leistungsfähigkeit theoretisch fundierter natürlicher Klassifikationssysteme im wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt erhalten kann.

Zur Zeit bestehen in der Systematik allerdings verschiedene konkurrierende Richtungen. Es sind dies hauptsächlich die *evolutionäre Systematik* (E. Mayr, G. G. Simpson u. a.), auch „traditionelle" oder „klassische" Systematik genannt, die von W. Hennig begründete *phylogenetische Systematik*, auch „Kladistik" („cladistics") bzw. „Kladismus" genannt, die *numerische Taxonomie* (P. H. A. Sneath, R. R. Sokal u. a.), auch „Phänetik" („phenetics") genannt, und schließlich die *umgebildete Kladistik* („transformed cladistics"), verfochten von G. J. Nelson, C. Petterson, N. I. Platnick, O. Rieppel u. a.

Jede dieser im Streit mit den anderen liegenden Richtungen hat ihre eigene Konzeption, wie und wozu Systematik betrieben werden soll, ihre eigene Methodologie und ihren eigenen Begriffsapparat, in dem auch von den verschiedenen Richtungen benutzte gleiche Termini mit unterschiedlichen Bedeutungen belegt sind. Dazu kommen Varianten in der Auslegung der Konzeptionen bei ihren Verfechtern, deren Ansichten sich zudem mit der Zeit ändern.

Gestritten wird nicht zuletzt mit philosophischen Argumenten verschiedener Provenienz. Angesichts dieser komplizierten Situation in der Systematik erlaubt die an dieser Stelle gebotene Kürze der Stellungnahme keine differenzierte und detaillierte Auseinandersetzung mit der vielschichtigen Problematik, sondern kann kaum mehr bringen, als zu einer gründlicheren Beschäftigung mit ihr anzuregen.[38]

38 Vgl. A. J. Dharig, Systcmatics in biology: A fundamental comparison of some major schools of thought, in: K. A. Joysey/A. E. Friday, Problems of phylogenetic reconstruction, London – New York 1982; R. Geesink, Scala Millettiearum, Leiden 1984, S. 19-34; S. J. Gould, What, if anything, is a zebra?, in: S. J. Gould, Hen's feeth and horse's Toes, Harmondsworth 1984; R.

Die Situation in der Systematik beruht auf objektiv bedingten Schwierigkeiten bei der klassifizierenden Bewältigung der gradweise abgestuften Mannigfaltigkeit der Organismen, die erst ins Blickfeld kamen, nachdem die Evolution in Betracht zu ziehen war. Diese Schwierigkeiten sind im Verhältnis der Arten und Artengruppen ihren morphologischen, physiologischen, biochemischen u. a. Merkmalen gegeben. Die *Verzweigung der Evolutionswege* oder „Kladogenese" (B. Rensch) einerseits und andererseits die *Veränderung des Erscheinungsbildes* sowie deren Ausmaß, die *phänetische Evolution*, sind zwei verschiedene Seiten der einen Organismenevolution, zwischen denen kein eindeutiger Zusammenhang besteht.

Die *evolutionäre Systematik* will das eine berücksichtigen und das andere nicht vernachlässigen. Aus dem Bestreben, sowohl die Kladogenese als auch die phänetische Evolution zu berücksichtigen, resultiert ihr Dilemma, das den Taxonomen zwingt, bei den Taxa oberhalb des Artranges immer wieder subjektive Kompromisse zwischen innerhalb eines Klassifikationssystems logisch unvereinbaren Gesichtspunkten zu schließen. Die Folge ist, dass kaum zwei Forscher übereinstimmen, wenn sie Taxa begrenzen und in das Klassifikationssystem einordnen bzw. *Tradition*, *Konvention und Expertenautorität* eine große Rolle bei der Herausbildung übereinstimmender Meinungen spielen – aus der Wissenschaft nicht wegzudenkende Instanzen, aber nicht gerade Garanten und Kriterien der Wahrheit. Im Grunde führt die evolutionäre Systematik auf dem Boden der Phylogenetik die vordarwinsche natürliche Systematik weiter.

Die *phylogenetische Systematik* hingegen hält sich konsequent an die kladogenetischen Beziehungen der Arten und Artengruppen als Klassifikationsprinzip, um auch die höheren Taxa zu objektivieren, und zwar als Abstammungsgemeinschaften, genauer: als monophyletische Gruppen verschiedenen Ranges. Zu solch einer im Sinne der phylogenetischen Systematik monophyletischen Gruppe gehören alle Arten, die Nachkommen einer nur ihnen gemeinsamen Stammart sind. Um diese Gruppen zu ermitteln, bedient sich die phylogenetische Systematik eines aus dem Homologienachweis unter Voraussetzung der Deszendenztheorie entwickelten Nachweisverfahrens: Bei den Merkmalen einer Artengruppe, die sie von anderen Arten oder Artengruppen unterscheiden, wird zwischen relativ ursprünglichen (plesiomorphen) und stärker veränderten relativ abgeleiteten (apomorphen) Merkmalen differenziert. Beispielsweise sind die kernhaltigen roten Blutzellen (Erythrozyten) der meisten höheren Wirbeltiere plesiomorph, die kernlosen Erythrozyten der Säugetiere apomorph. Grundlegend für die phylogenetische Klassifikation sind nun die Synapomorphien, d. h. die Übereinstimmungen in apomorphen Merkmalen, die auf mehrere Arten von

Löther, Die Beherrschung der Mannigfaltigkeit, Jena 1972, S. 229-242; E. Mayr, Biological classification: toward a synthesis of opposing methodologies, in: Science, Vol. 214, 1981, S. 510-516; E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, a. a. O., S. 177-197; G. Peters/B. Klausnitzer, Phylogenetische Systematik als Methode zur Erforschung der Stammesgeschichte der Tiere, in: Biologische Rundschau, 2/1978, S. 88-98.

einer nur deren Vorfahren gemeinsamen Stammart überkommen sind, bei einer älteren Stammart, die diese Artengruppe mit älteren Arten teilt, aber noch nicht vorhanden waren. Synapomorphien sind z. B. die kernlosen Erythrozyten der Säugetiere oder die Federn der Vögel.

Diese Methode zur Erforschung der Stammesgeschichte beurteilt auch ein so prominenter Gegner der phylogenetischen Klassifikation und Verfechter der evolutionären Systematik wie Mayr als ein im Prinzip „großartiges Verfahren". Es zwingt zur sorgfältigen Analyse aller Merkmale und artikuliert objektive Kriterien für die Feststellung gemeinsamen Abstammung von Gruppen.[39] Die phylogenetische Systematik aber kann der evolutionären Systematik gegenüber darauf verweisen, dass die phänetische Evolution nirgendwo anders stattfindet, als auf den Wegen der Kladogenese. Deren Kenntnis ist eine notwendige Voraussetzung für das vergleichende Studium der phänetischen Evolution und ihrer unterschiedlichen Evolutionsraten. Sie ergibt das Bezugssystem mit vergleichbaren Einheiten, die es ermöglichen, das Ausmaß der Veränderungen des Erscheinungsbildes einzuschätzen und sicherlich irgendwann einmal auch zu messen.

Das phylogenetische Klassifikationssystem vernachlässigt die phänetische Evolution und ihre Raten nicht. Vielmehr abstrahiert es von der Ähnlichkeit des Erscheinungsbildes und stellt damit die Voraussetzung dar, um die unterschiedlichen Evolutionsraten in Abstammungsgemeinschaften gleichen Ranges untersuchen zu können, während die evolutionäre Systematik weder über nähere Kenntnisse der Evolutionsraten verfügt noch eine Grundlage für ihre Erforschung bildet, weil ihr Klassifikationssystem bereits Vorurteile dazu enthält. „Wenn wir das phylogenetische System, in dem die zwischen allen Semaphoronten bestehenden genetischen (hologenetischen) Beziehungen dargestellt sind, zu dem von der speziellen Systematik gesuchten, allgemeinen Bezugssystem erheben, dann gewinnen wir damit den unschätzbaren Vorteil, ein Bezugssystem zu besitzen, von dem aus sich die Beziehungen zu allen anderen in der Biologie denkbaren Systemen besonders leicht darstellen lassen. Der Grund dafür liegt darin, daß sich die historische Entwicklung der Lebewesen eben in allen zwischen ihnen bestehenden Beziehungen notwendigerweise in irgendeiner Weise widerspiegeln muß, so daß vom phylogenetischen System aus unmittelbare Beziehungen zwischen diesen und anderen Systemen häufig nicht bestehen."[40]

Versucht die evolutionäre Systematik sowohl die phänetische Ähnlichkeit als auch die genealogischen Beziehungen der Organismenwelt zu berücksichtigen und

39 Vgl. E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, a. a. O., S. 183.
40 W. Hennig, Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik, a. a. O., S. 29. Genetische (hologenetische) Beziehungen im Sinne Hennigs sind die ontogenetischen Beziehungen zwischen einzelnen Semaphoronten, auf Grund derer sie Individuen bilden, die Beziehungen zwischen den Individuen, die sie innerhalb einer Art verbinden, und die phylogenetischen Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Arten und Artengruppen.

stützt sich die phylogenetische Systematik auf die genealogische Verwandtschaft der Arten und Artengruppen, so hält sich die *Phänetik* (*numerische Taxonomie*) strikt an das Erscheinungsbild der Organismen. Sie trat Ende der 50er/Anfang der 60er Jahre auf den Plan, um ebenfalls die Systematik von ihren subjektiven Momenten zu befreien und durchgängig Objektivität in ihr walten zu lassen. Das solle jedoch ganz anders geschehen als bei der phylogenetischen Systematik. Unter dem Eindruck der Möglichkeiten elektronischer Datenverarbeitung wurde der Computer zur Quelle der Objektivität erhoben. Als neue Methodik wurde vorgestellt, Merkmale nicht mehr auf Grund theoretischer Voraussetzungen differenzierend zu werten, sondern deren so viele, als habhaft sind, zusammenzustellen. Aus großen Mengen unbewerteter Merkmale könne der Computer die Ähnlichkeit berechnen und die Organismen entsprechend klassifizieren. Das Ergebnis sei objektiv, da zwei beliebige Forscher, die unabhängig voneinander, jedoch mit derselben Menge von Merkmalen arbeiten, stets zum selben Ergebnis über die Ähnlichkeit von Organismen und Organismengruppen kämen. Die Phylogenetik aber habe als überflüssig, verwirrend und spekulativ beiseite zu bleiben.

Mit der Phylogenetik wurde der philosophische Materialismus ins Abseits verwiesen: „... sehr wahrscheinlich gibt es keine absolute Realität – oder wir haben jedenfalls keinen Weg, um zu wissen, ob wir sie bisher gefunden haben, und allen philosophischen Grund für den Glauben, daß wir sie nicht gefunden haben", versicherte z. B. N. H. Russel.[41] Mit dem Zweifel an der Erkennbarkeit der objektiven Realität und der Unterschätzung des theoretischen Denkens wurde die Erkenntnis zum Ordnen der Sinnesdaten herabgesetzt, die zudem der Computer erledigt, der aus den Daten die Taxa erzeugt. Die Gleichheit der Eingaben und Operationen führt aber nicht zur Objektivität – zumal ein subjektunabhängiges Objekt in dieser Konzeption gar nicht vorkommt –, sondern lediglich zu intersubjektiver Übereinstimmung. Der positivistisch-operationalistische Charakter der philosophisch-theoretischen Prämissen und nicht – wie man auf Grund des Namens „numerische Taxonomie" meinen könnte – die quantifizierende Methodik in Verbindung mit dem Einsatz von Computern macht die Besonderheit der Phänetik aus.

Nicht gegen Zählen, Messen und Computereinsatz in der Systematik, wohl aber gegen die philosophisch-theoretischen Prämissen der Phänetik richten sich solche treffenden Feststellungen Mayrs:

1. „Die Operationen des Computers sind unendlich schneller als unsere eigenen, und er kann in der gleichen Zeit weit mehr Daten verarbeiten als wir es können; aber Objektivität wird nicht vom Computer hervorgebracht, und die vorausgesetzten Prinzipien werden von ihm letzten Endes nicht verändert. Der Computer ist wehrlos gegen die logischen Irrtümer des Programmierers".[42]

41 N. H. Russel, The development of an operational approach in plant taxonomy, in: Systematic Zoology, 4/1971, S. 161.
42 E. Mayr, Principles of Systematic Zoology, New York – St. Louis – San Francisco – Toronto – London – Sidney 1969, S. 208 f.

2. „Eine Art oder der Artbegriff wird durch *meine* Operationen weder gemacht noch getestet ... Vögel, Fledermäuse und andere höhere Taxa werden nicht durch die willkürlichen Operationen der Taxonomen gemacht, vielmehr sind sie Produkte der Evolution."[43]

3. Für die Phänetik „sind alle Merkmale gleichwertig, d. h. haben bei der Klassifikation dieselbe Bedeutung. Obschon die Anhänger der Phänetik dies als eine ‚nichtgewichtende' Methode bezeichnet haben, ist es natürlich ein vorheriges Gewichten, wenn man jedem Merkmal die gleiche Bedeutung zuteilt ... Ob ein im Wasser lebendes wirbelloses Tier eine Chorda besitzt oder nicht, ist von größerem taxonomischem Wert als hundert andere Merkmale."[44]

Mit dem von der Phänetik nahegelegten Verfahren werden künstliche Klassifikationen erzielt, die für sich ohne tieferen Erkenntniswert sind, aber pragmatisch nützlich sein können. Ihre Methodik hat, befreit von ihrer Apologetik und dem Anspruch auf alleinige Gültigkeit, durchaus positive Bedeutung, und sei es nach der von C. Levi-Strauss in anderem Kontext formulierten Devise: „Jede Art der Klassifizierung ist dem Chaos überlegen; und selbst eine Klassifizierung auf der Ebene der sinnlich wahrnehmbaren Eigenschaften ist eine Etappe auf dem Wege zu einer rationalen Ordnung"[45] Die „polythetische", viele Merkmale berücksichtigende Klassifikation z. B. im weiten Überreich der Prokaryoten, die der Computer ermöglicht, ist dabei zweifellos ein Fortschritt gegenüber der auf ein oder wenige Einzelmerkmale gegründeter „monothetischer" Klassifikation.

„Die der numerischen Phänetik zugrundeliegende Philosophie hat zwar versagt", resümiert Mayr rund ein Vierteljahrhundert, nachdem sie verkündet wurde, „doch das ist kein Grund, nicht die Brauchbarkeit vieler von den Phänetikern entwikkelten und angewandten numerischen und insbesondere multivariablen Methoden anzuerkennen."[46] Die von den numerischen Taxonomen in Pionierarbeit begründeten Verfahren seien heute in vielen Wissenschaftsgebieten und in anderen Bereichen, in denen das Sortieren und Klassifizieren von Daten wichtig ist, weit verbreitet. Der größte Beitrag der numerischen Phänetik dürfte nach Mayr darin bestehen, die Verwendung solcher Methoden befürwortet und in die Taxonomie eingeführt zu haben. Nicht zu unterschätzen sei weiter, dass sie großen Nachdruck auf den in der Geschichte der Taxonomie von den besten Taxonomen unterstützten Grundsatz legte, möglichst viele unterschiedliche und neue Informationen liefernde Merkmale und Merkmalssysteme heranzuziehen.

Wie die numerische Phänetik hat auch die *umgebildete Kladistik* die Beziehungen abgebrochen, die zwischen Systematik und Phylogenetik bestehen – verunsichert,

43 Ebenda, S. 69.
44 E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, a. a. O., S. 180.
45 C. Levi-Strauss, Das wilde Denken, Frankfurt/M. 1973, S. 27 f.
46 E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, a. a. O., S. 181.

verwirrt und irregeleitet durch die *Wissenschaftsphilosophie Poppers* im allgemeinen und speziell durch dessen Ansicht, der Darwinismus sei keine testbare naturwissenschaftliche Theorie, sondern ein metaphysisches Forschungsprogramm.[47] Rieppels dies belegende Meinung wurde schon gelegentlich des Eingehens auf die Frage, ob der Phylogenetik ein Zirkelschluss zugrunde liege, angeführt. „Als eine Wissenschaft des Ordnungsmusters (pattern) behauptete die Kladistik die Möglichkeit einer Rekonstruktion der Geschichte des Lebens in Raum und Zeit, *die nicht von darwinistischen oder neodarwinistischen Voraussetzungen abhängt*", versichert Patterson.[48] Angesichts solcher destruktiven Wirkung, die Poppers Philosophie in der Systematik gezeitigt hat, ist die Frage sekundär, ob seine Ansichten über den Darwinismus auch anders als in der umgebildeten Kladistik auslegbar sind, und nicht minder zweitrangig ist, dass Popper sie anfangs der 80er Jahre teilweise modifiziert hat.

Einfach von Kladistik bzw. von Kladismus zu sprechen, wenn von der umgebildeten Kladistik die Rede ist, wie z. B. Patterson und Rieppel tun, ist irreführend, weil auch die phylogenetische Systematik, vor allem in der anglo-amerikanischen Literatur, so genannt wird. Doch auch „umgebildete Kladistik" („transformed cladistics") ist bei Lichte besehen eine gänzlich unangemessene Bezeichnung, handelt es sich doch um verunstaltete, verballhornte Kladistik. Beide taxonomische Richtungen sind von Grund auf verschieden und unvereinbar. Wie dargelegt wurde, setzt die Methode der phylogenetischen Systematik die Deszendenztheorie voraus. Es ist eine Methode, um stammesgeschichtliche Verwandtschaftsbeziehungen aufzudecken und der Klassifikation der Arten zugrunde zu legen. In der umgebildeten Kladistik aber hat man das Kunststück fertiggebracht, sie zu einer Prozedur des Vergleichs ahistorisch-zeitlos betrachteter Merkmale umzukonstruieren, so dass die stammesgeschichtliche Dimension in ihr nicht mehr vorkommt. Angesichts der Ergebnisse ist es dann jedermann freigestellt, sie nach Belieben auch darwinistisch-evolutionistisch zu interpretieren. Damit wird die Methode der phylogenetischen Systematik als Ganzes und in wesentlichen Gesichtspunkten entstellt.

Dazu gehören insbesondere die Einbeziehung des „Sparsamkeitsprinzips" („principle of parsimony") bzw. von Ockhams positivistisch-denkökonomisch verbogenem Rasiermesser, die auch sonst in der taxonomischen Diskussion für Konfusion sorgen.[49]

47 Vgl. K. Popper, Darwinismus as a metaphysical research programme, in: P. A. Schilpp (ed.), The Philosophy of Karl Popper, Vol. 1, La Salle 1974, S. 134.

48 C. Patterson, Cladistics and classification, in: New Scientist, 29. April 1982, S. 306 (Hervorhebung von mir, R. L.).

49 Vgl. R. Johnson, Parsimony principles in phylogenetic systematics: a critical re-appraisal, in: Evolutionary Theory, Vol. 6, 1982, S. 79-90. Der als „Ockhams Rasiermesser" bekannte Satz lautet: „Entia non sunt rnultiplicanda practer neccessitatem („Wesen soll man nicht ohne Gebühr vermehren") (Occam, in: N. I. Kondakow, Wörterbuch der Logik, Leipzig 1978, S. 369); vgl. W. von Ockham, Kurze Zusammenfassung zu Aristoteles' Büchern über Naturphilosophie, Leipzig 1983, S. 234 und Anmerkung 71 sowie S. 313.

So betrachtet Rieppel Ockhams Rasiermesser als Instrument, um zwischen alternativen Hypothesen über Verwandtschaftsbeziehungen deduktiv zu entscheiden. Subjektivistisch-positivistisch wird das denkökonomische Ordnen von Beobachtungsdaten in Hypothesen angelegt, aus denen das Erkennen angeblich prinzipiell nicht herauskommen kann. „Da aus der Vergangenheit einerseits keine testbaren Hypothesen zu gewinnen sind, andererseits aber die Überlieferung die Beobachtungsgrundlage zur Bewertung historischer Hypothesen bietet, können wir uns fragen, wie eine möglichst objektive Bewertung alternativer Hypothesen zu erreichen wäre. Wir können die Frage stellen, welche der alternativen Hypothesen die Beobachtungen plausibler, umfassender, logisch und möglichst einfach erklärt, welche der alternativen Hypothesen ein Minimum an Voraussetzungen impliziert. Anstelle der Merkmalswägung können wir das von William von Ockham schon anfangs der 14. Jahrhunderts vorgeschlagene Rasiermesser verwenden. Dies bedeutet, daß die einfachste der alternativen Hypothesen auszuwählen ist ...“, verkündet Rieppel.[50]

Er bewegt sich im Subjektiv-Hypothetischen weiter, wenn er dieses Vorgehen scheinbar realitätsbezogen mit dem Postulat unterlegt, dass es auf einem Minimum an Evolutionsschritten fuße. Damit wird lediglich der Vorschlag, stets die Hypothese mit den wenigsten Voraussetzungen zu akzeptieren, in die für Rieppel auch nur hypothetische Evolution, in die Evolutions-Hypothese, projiziert. Der Unterschied zwischen dem umgebildeten Kladismus, nicht nur in der Rieppelschen Version, und der phylogenetischen Systematik wird in Hennings Stellungnahme zur gleichen Problematik sichtbar: „Eine Annahme über phylogenetische Verwandtschaftsbeziehungen und monophyletische Gruppen kann dann als gut begründet gelten, wenn es gelungen ist, möglichst viele, im Prinzip alle zwischen den Arten und Artengruppen bestehenden Merkmalsübereinstimmungen in eine der drei Kategorien Autapomorphie, Synapormorphie, Symplesiomorphie einzuordnen und wenn man für alle Gruppen, die als monophyletisch angesehen werden, Synapomorphien nachweisen kann.“[51]

Damit wird natürlich nicht ausgeschlossen, dass zeitweilig alternative Hypothesen über phylogenetische Verwandtschaftsbeziehungen auftreten können. Aber den Taxonomen bleibt nichts weiter übrig, als damit zu leben, bis sie in der vergleichenden Merkmalsanalyse und damit der Hypothesenprüfung so weit gekommen sind, eine Hypothese als die richtige oder zumindest wahrscheinlichste zu erkennen. Gerade dadurch fördern die Hypothesen als Entwürfe möglicher Problemlösungen das Erkennen.

Während die numerische Phänetik trotz ihrer philosophischen Prämissen durch praktische Leistungen zum Erkenntnis- und Methodenfortschritt beigetragen hat, ist dergleichen von der umgebildeten Kladistik nicht zu erwarten. Weder erschließt sie der Forschung neue Bereiche noch bedient sie sich neuer Hilfsmittel des Erkennens.

50 O. Rieppel, Kladismus oder die Legende vom Stammbaum, a. a. O., S. 156.
51 W. Hennig, Taschenbuch der Zoologie, Bd. 2, Wirbellose I, Jena 1979, S. 21.

Vielmehr tritt sie in Konkurrenz mit Richtungen taxonomischer Arbeit, von denen jede mehr Erkenntniszuwachs bringt als sie.

Zudem wohnen ihr Konsequenzen inne, auf die die „Neue Zürcher Zeitung" vom 21. Dezember 1983 in einer mit „hsr." gezeichneten Rezension zu Rieppels „Kladismus oder die Legende vom Stammbaum" wohlgefällig hinwies. Unter der Überschrift „Kladismus: Askese gegenüber der Abstammungstheorie" stand da zu lesen: „Obschon Rieppel gegenüber den Realisten sagt, ‚die Evolution ist eine Idee, ohne die wir sehr wohl leben können', setzte er Evolution doch als axiomatisch voraus, ‚denn ohne diese Voraussetzung würde die Verwandtschaftsforschung sinnlos'. Wieso sinnlos? Doch wohl nur, weil es sich bei der Evolutionsidee um eine traditionsimmanente Dominante handelt, denn die idealistischen Morphologen der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts, von denen die ‚modernen Morphologen' abstammen und die Rieppel kennt, konnten sehr wohl ohne und gegen das Axiom einer Evolution ihre funktionell kladistischen Klassifikationen ausarbeiten, aufgefasst z. B. als Spuren von Schöpfungsgedanken." Tatsächlich ist die umgebildete Kladistik alles andere als gefeit gegen eine solche Ausdeutung. Nichts zeigt deutlicher, dass ihr methodologisches Abgehen von der Phylogenetik als theoretische Voraussetzung taxonomischer Arbeit auf einen Rückschritt vor die Darwinsche Wende in der Geschichte der Biologie hinausläuft.

Die Methodiken numerisch-phänetischer, evolutionärer und phylogenetischer Systematik hingegen ergänzen sich im stufenweisen Fortschreiten der Erkenntnis „von der Erscheinung zum Wesen, vom Wesen, sozusagen, erster Ordnung zum Wesen zweiter Ordnung usw."[52] Dabei bilden sie zugleich unter dem Aspekt von *Historischem und Logischem* in der Wissenschaftsentwicklung die logisch-aktuale Entsprechung zur allgemeinen historischen Entwicklung der Systematik, die sich gemäß der besonderen Situation hinsichtlich der verschiedenen Teile der Organismenwelt unter Voraussetzung moderner Theorie und Technik reproduziert. Darauf beruht die Möglichkeit einer diese drei Richtungen in der Systematik als Alternativen überwindenden einheitlichen Theorie und Methodologie der Taxonomie, einer *Synthese* der drei taxonomischen Konzeptionen *vermittels materialistisch-dialektischen Denkens*, die jene Schwierigkeiten überwindet, die sich aus dem Verhältnis von Kladogenese und phänetischer Evolution ergeben.

Dass das Vorgehen polythetisch-numerischer, evolutionärer und phylogenetischer Systematik den Phasen eines fortschreitenden Erkenntnisprozesses entspricht, zeigt sich im Inhalt, den der Begriff der „Systematischen Verwandtschaft" der Taxa bei den verschiedenen Klassifikationssystemen besitzt. Sokal und Sneath schreiben dazu: „Der Terminus ‚Verwandtschaft' bietet Anlaß für Verwirrung. Er kann Verwandtschaft durch Abstammung bedeuten ... oder er kann einfach die Gesamtähnlichkeit indizieren, wie sie nach den Merkmalen der Organismen beurteilt wird. In dieser Bedeutung der Gesamtähnlichkeit haben wir den Terminus ‚Affinität' in Gebrauch

52 W. I. Lenin, Philosophische Hefte, in: Werke, Bd. 38, a. a. O., S. 240.

genommen, der in vordarwinschen Zeiten allgemein benutzt wurde. Wir können diese Art von Verwandtschaft von der Verwandtschaft durch Abstammung auch unterscheiden, indem wir sie *phänetische Verwandtschaft* nennen, ... um anzuzeigen, daß sie sich auf den Phänotyp des Organismus bezieht und nicht auf seine Phylogenie."[53] Weiter könne man bei der Verwandtschaft durch Abstammung sagen, zwei Formen seien phyletisch eng verwandt, weil sie viele Merkmale besitzen, die von einem gemeinsamen Vorfahren stammen. Diese Komponente phyletischer Ähnlichkeit, die so verstandener gemeinsamer Abstammung (und nicht Konvergenz) entspringt, wird „*patristische* Affinität" genannt. Zum anderen können Formen als nahe verwandt aufgefasst werden nach der Unmittelbarkeit der gemeinsamen Abkunft ohne Rücksicht auf die Anzahl der Merkmale, die von einem gemeinsamen Vorfahren stammen. Diese Art von Verwandtschaft wird „kladistisch" genannt. Kladistische Verwandtschaft beziehe sich auf die Wege der Ahnenabstammung und beschreibe die Abfolge ihrer Verzweigungen; sie ignoriere die Evolutionsraten und habe deshalb keine Beziehung zur phänetischen Ähnlichkeit. Beide Aspekte phyletischer Verwandtschaft seien nicht als additiv auffassbar.

Sokal und Sneath fassen zusammen:

„Phänetische Verwandtschaft = homologe (patristische) Verwandtschaft + homoplastische (konvergente) Verwandtschaft. Phyletische Verwandtschaft hat zwei Aspekte:

(1) Patristische Verwandtschaft

(2) Kladistische Verwandtschaft."[54]

Phänetische, patristische und kladistische Verwandtschaft sind Konkretisierungen der systematischen Verwandtschaft jeweils für die Klassifikationssysteme der numerischen, der evolutionären und der phylogenetischen Systematik. Der Übergang von der phänetischen zur patristischen Verwandtschaft erfolgt durch die Feststellung der Homologien und der Übergang von der patristischen zur kladistischen Verwandtschaft (phylogenetische Verwandtschaft nach Hennig) durch die Unterscheidung zwischen Plesiomorphie und Apomorphie der Homologien. Auf beiden Stufen wird Monophylie der Taxa gefordert, wobei der Übergang zur kladistischen Stufe eine Präzisierung des Monophylie-Begriffs einschließt. Für die evolutionäre Systematik bedeutet Monophilie nur die Herleitung eines Taxons über eine oder mehrere aufeinanderfolgende Ahnenformen von einem unmittelbaren Ahnentaxon des gleichen oder niederen Ranges. Hingegen fordert die phylogenetische Systematik, dass die Arten jedes höheren Taxons sich von einer gemeinsamen Stammart herleiten lassen und keine Art, die aus dieser Stammart hervorgegangen ist, außerhalb dieses Taxons platziert werden darf.

Im Übergang von der phänetischen zur patristischen und kladistischen Verwandtschaft werden Schichten von Phänomenen abgetragen, bis die Struktur der

53 R. Sokal/P. Sneath, Principles of Numerical Taxonomy, San Francisco – London 1962, S. 3 f.
54 Ebenda, S. 222.

Verwirklichung eines fundamentalen Gesetzes der lebenden Natur frei zutage tritt, das seine Formulierung erhalten hat als Redisches Prinzip „Omne vivum e vivo", und das seinen Platz in der deszendenztheoretischen Erklärung der gradweise abgestuften Mannigfaltigkeit der Organismen hat. Das Verhältnis des Redischen Prinzips zum phylogenetischen System ist das eines *Naturgesetzes zur idealisierten Beschreibung eines Naturvorganges* unter den Aspekt der Verwirklichung dieses einen Gesetzes. Das phylogenetische System ist die idealisierte Darstellung des Naturvorganges der Evolution im Hinblick auf das Redische Prinzip und vom Zeithorizont der Gegenwart aus. Die sukzessive Einbeziehung der Gesetze der Vererbung und Evolution führt zur Überlagerung der vom phylogenetischen System zum Ausdruck gebrachten Struktur mit den Konturen patristischer und phänetischer Ähnlichkeit, zu ihrer ideellen Rekonstruktion.

Verstehen wir unter „*Stammbaum*" die allseitige ideelle Reproduktion der Geschichte des Lebens auf der Erde auf dem Organisationsniveau der Populationen und Arten, so ist das *phylogenetische System* die Darstellung seiner von der Gegenwart aus gesehenen Grundstruktur. Der Stammbaum der Organismen „ist – wenn man unter ‚Stammbaum' ein Diagramm versteht, in dem ihre phylogenetische *Verwandtschaft* in Beziehung gesetzt wird zu ihrer *Ähnlichkeit* in jeder denkbaren Richtung – ein vieldimensionales Gebilde, das vollständig nicht anschaulich dargestellt werden kann."[55] Daraus ergibt sich für das Erkennen die Notwendigkeit unterschiedlicher Projektionen dieser Polystruktur

- in Form von Klassifikationssystemen, die sich auf unterschiedliche Schichten von Phänomenen beziehen (phänetische, patristische, kladistische Verwandtschaft);
- in Form von Klassifikationssystemen, die sich auf unterschiedliche Zeithorizonte der Vergangenheit als Querschnitte durch den Stammbaum beziehen;
- in Form von Stammbaumdarstellungen, die die verschiedenen in Klassifikationssystemen ausgedrückten Stammbaumquerschnitte verschiedener Phänomenebenen verbinden.

Dieses Ensemble erst ergibt das ideelle Netzwerk, in dem sich die raum-zeitliche Mannigfaltigkeit der Organismenwelt einfangen läßt. In der Relationslogik scheint es logische Mittel zu geben, die dazu dienen können, die auf unterschiedliche Phänomenebenen bezogenen Klassifikationssysteme zu verknüpfen. Die fortschreitende geistige Beherrschung der Organismenmannigfaltigkeit ist grundlegender Bestandteil der Erkenntnis des Lebenden und notwendige Voraussetzung des Schutzes sowie der rationellen und effektiven Nutzung der lebenden Natur. Das phylogenetische Klassifikationssystem aber ist das allgemeine Bezugssystem, um die Organismenmannigfaltigkeit geistig zu beherrschen. „Wenn aber ein System der Organismen für die Praxis überhaupt eine Bedeutung haben kann, dann liegt diese allein darin, mit seiner Hilfe

55 W. Hennig, Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik, a. a. O., S. 278.

Wahrscheinlichkeitsangaben über den vermutlichen Geltungsbereich der an mehr oder weniger zahlreichen Einzelindividuen festgestellten Gesetzmäßigkeiten machen zu können. Darin ist aber dieses System, eben wegen der genau definierten Gruppen aller Rangstufen allen anderen in der Biologie denkbaren Systemen überlegen."[56]

3. Biologische Evolutionstheorien im Wandel

Die *biotische Evolution* ist diejenige Bewegung der lebenden Materie, in die alle andere biotische Bewegung und Veränderung einbezogen ist. An ihr haben der Bestand und die Struktur der in den lebenden Organismen gebildeten organisch-chemischen Verbindungen ebenso teil wie die morpho-physiologische Organisation, die Ontogenese, die Lebensweise und das Verhalten der verschiedenartigen Organismen, die Populationen und Arten, die Biozönosen und das Biostroma. Ihr *primäres Geschehensfeld* in der enkaptischen Hierarchie des Lebenden befindet sich *auf der Ebene der Populationen und Arten.* Hier vollzieht sich die Evolution im Artrahmen, „*Mikroevolution*" (N. W. Timofeev-Resovskij) oder „*infraspezifische Evolution*" (B. Rensch) genannt, deren Einheiten die Populationen sind, und die darüber hinausgehende „*Makroevolution*" (Ju. A. Filipčenko) oder „*transspezifische Evolution*" (Rensch), aus der in der Aufeinanderfolge der Arten die stammesgeschichtliche Entwicklung (Phylogenese) der Organismen resultiert.

Von der Ebene der Populationen und Arten aus wirkt sich die Evolution auf die darüber und darunter liegenden Ebenen des Lebenden aus und bezieht sie in sich ein. Daraus resultiert der *Gesamtprozess der naturgeschichtlichen Entwicklung der lebenden Materie.* Zugleich gehören die *Biosysteme* der darüber und darunter befindlichen Ebenen als *Umwelt* oder als *integrierte Bestandteile* der Populationen und Arten zum *Bedingungsgefüge ihrer Evolution. Die Evolution ist der Prozess der Selbstbewegung des Lebenden, in dem historisch Neues und Höheres entsteht.*

Die Faktoren, bewegenden Kräfte und Gesetzmäßigkeiten der historischen Entwicklung des Lebenden bilden den Gegenstand, der *biologischen Evolutionstheorie*, die nach ihrem Begründer auch „Darwinismus" genannt wird. Sie gründet sich auf das Studium gegenwärtiger Prozesse, um den Verlauf der Evolution zu erklären und menschliche Einflussnahme auf sie wissenschaftlich zu fundieren. Seit der wissenschaftlichen Begründung dieser Theorie in Darwins „On the Origin of Species by means of Natural Selection" (1859) hat sie eine Reihe von Entwicklungsstadien durchlaufen.[57] Zwischen der Mitte der 30er und der 50er Jahre des 20. Jahrhunderts bildete sich der moderne Darwinismus in Gestalt der *Synthetischen Theorie der Evolution* heraus. In dieser Theorie wurde vor allem die klassische Variabilitäts-Selektions-

56 Ebenda, S. 123.
57 Vgl. S. R. Mukilinskij/Ju. I. Poljanskij (Red.), Razvitie evoljucionnoi teorii v SSSR (1917-1970-e gody), Leningrad 1983, S. 8-43.

Konzeption Darwins mit den Befunden der von Mendel begründeten Genetik über Vererbung und Mutabilität vereint.[58] Vermittelt wurde diese Vereinigung durch die Ende der 20er/Anfang der 30er Jahre entstandene *Populationsgenetik*. Dobzhansky leitete mit seinem Buch „Genetics and the Origin of Species" (1937) die Synthese von Darwinismus und Genetik ein, deren Ausformung und Verbindung mit den verschiedenen biologischen Teilwissenschaften die Entwicklung der Evolutionstheorie bis zur Mitte der 50er Jahre bestimmte. Grundlegend für die Synthetische Theorie ist das Begreifen der *Populationen als elementare Einheiten des Evolutionsprozesses* und der *natürlichen Auslese als dessen bewegende Kraft*.

Seit der zweiten Hälfte der 50er Jahre zeichnen sich *auf der Synthetischen Theorie aufbauende und über sie hinausführende Entwicklungen* ab. Sie sind verbunden mit den fundamentalen Entdeckungen bei der Untersuchung der biochemischen und molekulargenetischen Grundlagen der Evolution, der breiten Anwendung mathematischer sowie kybernetischer und anderer systemtheoretischer Methoden in der Evolutionsforschung sowie der differenzierten Berücksichtigung und Analyse des Systemcharakters des Lebenden und seiner grundlegenden Ebenen. Die *Evolution der Biosphäre* und *der Ökosysteme*, die „*Evolution der Evolution*", d. h. die Evolution der Faktoren und des Mechanismus der Evolution selbst, sowie die *Besonderheiten des Evolutionsprozesses* bei den verschiedenen großen Taxa wurden zu Gegenständen neuer Teilgebiete der Evolutionstheorie. Zu einer wichtigen Aufgabe der Evolutionsforschung wird es, die Besonderheiten der Evolution des Lebenden unter den *Bedingungen der wissenschaftlich-technischen Revolution* zu untersuchen, mit der die *menschliche Tätigkeit als Hauptfaktor bei der Veränderung der Biosphäre* hervortritt.

Die über die Synthetische Theorie der 50er Jahre hinausführende Entwicklung des Darwinismus verläuft selbstverständlich nicht ohne wissenschaftliche Kontroversen. Sie entzünden sich an neuen Entdeckungen und theoretischen Entwürfen, an Problemen, die im Aufschwung dieser Theorie am Rande bleiben und heute mehr Interesse auf sich ziehen, und manchmal auch an Missverständnissen. Sie betreffen hauptsächlich Modalitäten der Entstehung neuer Arten (Speziation) und infra- und transspezifischer Evolution, Selektionsmechanismen auf verschiedenen Organisationsniveaus des Lebenden – von der molekularen Ebene bis zu den zwischenartlichen Beziehungen in den Ökosystemen – und ihren Zusammenhang, die Bedeutung physikalischer und chemischer Gesetze sowie innerer Systembedingungen und -gesetze der Organismen und ihrer Individualentwicklung und nicht zuletzt die Zusammenhänge zwischen Ontogenese und Phylogenese sowie die Entwicklung vom Niederen zum Höheren.[59] Weitgehend sind es Fragen, die diskutiert werden, seitdem es biologische

58 Vgl. K. Senglaub, Krise und Ausweg. Die kritische Phase des Darwinismus und der Beginn der synthetischen Theorie der Evolution, in: Wissenschaft und Fortschritt, 4/1982, S. 130-132.
59 Vgl. W. F. Gutmann, Das neue Evolutionskonzept: Erweiterung oder Neubegründung?, in: Biologische Rundschau, 4/1985, S. 225-239; G. Peters, Evolution und Stammesgeschichte der

Evolutionstheorie gibt und die heute im Rückgriff auf die Problemgeschichte (oder auch ohne sie zu kennen) unter veränderten Voraussetzungen und mit neuen Akzenten wieder aufgegriffen werden.

Diese Situation kommt auch im *Zustand der Evolutionstheorie* zum Ausdruck. Diese besteht, wie D. L. Hull vermerkt, nicht in *einer* Reihe von (womöglich in axiomatischer Form vorgelegten) Lehrsätzen, die als *die* Theorie der Evolution aufgefaßt werden könnte. Stattdessen seien unterschiedliche, unvollständige, partiell unvereinbare Versionen der Evolutionstheorie vorhanden. „Ich halte diese Sachlage nicht für ungewöhnlich, zumal in Perioden rascher theoretischer Veränderung. Der Mythos, daß eine Reihe von Lehrsätzen existiert, die unzweideutig als Newtonsche Theorie, Relativitätstheorie usw. bezeichnet werden könnte, ist generell ein Artefakt, das durch mangelnde Aufmerksamkeit für die historische Entwicklung und Desinteresse an der wissenschaftlichen Primärliteratur zustande kommt. Die einzige Stelle, an der man *die* Version einer Theorie finden kann, ist ein Lehrbuch, das geschrieben wurde, nachdem die Theorie für Wissenschaftler jedes theoretische Interesse lange verloren hatte", schreibt Hull.[60]

Und N. Eldredge zieht aus in der Evolutionsbiologie stattfindenden Debatten das Fazit: „Wenn all die Staubwolken um diese jüngste Episode der Kontroverse in der Evolutionstheorie verzogen sein werden, werden wir genauer sehen, wie der Evolutionsprozeß vorangeht. Das ist der Sinn des Ganzen und das, worum es geht. Wenn die Evolutionstheorie daraus in einer der ‚modernen Synthese' gegenüber etwas veränderten Form hervorgeht, werden sich einige von uns als Sieger fühlen und andere werden in unnachgiebiger Opposition ins Grab gehen. Wenn die Synthese unversehrt entkommt, werden sich einige von uns vergebens abgemüht haben, die Theorie jedoch wird durch ihre Fähigkeit, gründlicher Kritik zu widerstehen, gestärkt sein ... Völlig klar ist aber: Was auch immer in den nächsten zehn Jahren entsteht, es wird nur ein Bericht über Fortschritte sein."[61]

Die Stellungnahmen von Hull und Eldredge demonstrieren die derzeitige Situation der Evolutionstheorie und das Wesen des um sie geführten wissenschaftlichen Meinungsstreites: Sie sind durch die *Vorwärtsbewegung des biologischen Entwicklungsdenkens* bestimmt. Dabei wird unweigerlich für eine Version der Evolutionstheorie gegen andere plädiert, wenn nun – ohne Anspruch auf Vollständigkeit der Zahl und des Inhalts – in der Diskussion befindliche Probleme erörtert werden.

Organismen – neuere theoretische Aspekte, in: Erkenntnis der Natur und wissenschaftliche Weltanschauung, hg. vom Präsidium der URANIA, Berlin 1986 G. L. Stebbins/F. J. Ayala, Die Evolution des Darwinismus, in: Spektrum der Wissenschaft, 9/1985, S. 58-73; N. N. Voroncov, Teorija evoljucii: istoki, postulaty, problemy, Moskva 1983; F. M. Wuketits, Die Synthetische Theorie der Evolution – Historische Voraussetzungen, Argumente, Kritik, in: Biologische Rundschau, 2/1984, S. 73-86.

60 D. L. Hull, A matter of individuality, in: Philosophy of Science, 3,1978, S. 335 f.

61 N. Eldredge, The Monkey Business, New York 1982, S. 77 f.

Artbegriff und Theorie der Speziation sind grundlegend für das Verständnis der Evolution auf dem Populations- und Artniveau des Lebenden. Der von Ray als Synonym für die logische infima species, für die basale Einheit der Klassifikation der Lebewesen eingeführte *Begriff der Art* (*Spezies*) ist zugleich der Begriff, der die elementare Entwicklungseinheit der Stammesgeschichte bezeichnet, das unmittelbare begriffliche Bindeglied zwischen Taxonomie und Phylogenetik. Dieser Sachverhalt ist nur sinnvoll verständlich, wenn eine bestimmte Auffassung der Art vorausgesetzt wird, die sich seit Rays zukunftsträchtigem Schritt herausgebildet hat. Sie besagt, dass Arten (Arttaxa) nicht logische Klassen von organismischen Individuen sind, mit Merkmalen, die sie von anderen Klassen organismischer Individuen unterscheiden. Vielmehr handelt es sich bei ihnen um ganzheitliche überorganismische, individuelle, raum-zeitlich organisierte materielle Systeme. Sie entstehen aus anderen Arten, entwickeln sich und vergehen, sei es, weil aus ihnen neue Arten hervorgehen, sei es, weil ihre Individuen nachkommenlos bleiben. Insgesamt bilden sie eine besondere Ebene des Lebenden.

Das Artproblem in der Biologie ist also kein Problem des von Platon und Aristoteles ausgehenden Universalienstreites, obwohl es lange Zeit vorwiegend so behandelt wurde. In dessen Rahmen verlaufende Diskussionen darüber, ob es in der Natur Arten gibt oder ob sie Konstruktionen des menschlichen Verstandes sind, verfehlen, – unabhängig vom verfochtenen Standpunkt – ihren sachlichen Gegenstand, weil der Terminus „Art", die Artkategorie als biologischer Fachausdruck, sich nicht auf eine Gesamtheit logischer Klassen bezieht, sondern mit den Arttaxa auf eine Gesamtheit von einzelnen materiellen Systemen. Anders gesagt: Lebewesen und Arten stehen nicht im Verhältnis von Einzelnem und Allgemeinem sondern von Element und System bzw. von Teil und Ganzem.[62]

Allerdings sind die einer Art zugehörigen Organismen meist zugleich einander morphologisch ähnlicher als Organismen anderer Arten. Dieser Umstand erlaubt es weitgehend, auf Grund der Analyse der gemeinsamen und unterscheidenden Merkmale der Organismen auf ihre Artzugehörigkeit zu schließen. Das erklärt, warum seit alters – auch ohne die Auffassung der Art als materielles System – Arten richtig erfasst werden. Doch sind die Merkmale nicht Kriterien, sondern Indizien der Artzugehörigkeit, die trügen können. Die Zuverlässigkeit des Schlusses von den Merkmalen auf die Artzugehörigkeit wird einmal begrenzt durch *Polymorphismus* und andere Erscheinungen innerartlicher Variabilität der Lebewesen und andererseits durch die Existenz von Arten, deren organismische Individuen einander zum Verwechseln der Artzugehörigkeit ähneln, „*Zwillings-*" *oder* „*Doppelgängerarten*" („*sibling species*") genannt.

Eine spezielle und weithin anerkannte sowie die am besten ausgearbeitete Form der *Systemauffassung der Art* ist die von *Mayr*, ihrem hervorragenden Theoretiker, so

62 Vgl. M. T. Ghiselin, Species concepts, individuality, and objectivity, in: Biology & Philosophy, 2 (1987), S.127-1438; E. Mayr, The ontological status of species, in: Biology & Philosophy, 2 (1987), S. 145-166.

benannte „*biologische Artkonzeption*“. Ihre Ausarbeitung gehört zu den großen Errungenschaften der Synthetischen Theorie. Es ist eine spezielle Form der Systemauffassung der Art, weil sie sich unmittelbar nur auf die Arten der sich zweieltrig-sexuell reproduzierenden Organismen bezieht. „Eine Art ist eine Fortpflanzungsgemeinschaft von (fortpflanzungsmäßig von anderen isolierten) Populationen, die eine spezifische Nische in der Natur einnimmt“, definiert Mayr.[63] Als reproduktiv isolierte Fortpflanzungsgemeinschaften sind Arten zugleich auch genetische Einheiten, genetisch gegeneinander abgeschlossene Systeme, während ihre Populationen (Unter- oder Teilsysteme der Art) genetisch gegeneinander offen sind. Mit „spezifischer Nische in der Natur“ sind die Arten auch ökologisch, durch ihren Platz im ökologischen Beziehungsgefüge charakterisiert.

In genetischer Hinsicht ist den Arten ein *gemeinsamer Genbestand* (*Genpool oder Artgenom*) eigen. Jedes organismische Individuum ist zeitweiliger Träger eines kleinen Teiles des Genpools seiner Art. Die Vielfalt der im Artgenom enthaltenen Gene bzw. ihrer durch Genmutation erzeugten Zustandsformen (Allele) und deren mit der zweieltrigen Fortpflanzung verbundene Rekombination sind eine unerschöpfliche Quelle der genetischen Variabilität der Organismen. Im Genpool wird der Effekt der verschiedenen Evolutionsfaktoren fixiert, die die Arten im Laufe der Zeit ständig kausal und konditional beeinflussen. Sie wirken sich auf den Genpool aus. Die in ihm enthaltene, in den Basenfolgen der DNA gespeicherte Erbinformation widerspiegelt die Erfolge der Art (und ihrer Vorfahrensarten) bei der Anpassung an ihre sich verändernde Umwelt. Es ist die natürliche Auslese, die das Artgenom von diesem Prozess ständig an die Umwelt der Art anpasst (adaptiert) und seine Gene aufeinander abstimmt (koadaptiert).

Auf diese Weise ist der Genpool ein integriertes, balanciertes System von Erbanlagen, deren Rekombination und Koordination als genetisches Programm der Ontogenese für die Umwelt der Art lebenstaugliche Individuen ermöglichen. „Der Organismus ist ein evolutionäres Konterfei seiner Umweltverhältnisse“, bemerkt R. Sinz. „Man wird einwenden, daß organismische Abbilder sehr verschieden aussehen: vom Einzeller bis zum Vielzeller, von der Mücke bis zum Elefanten. Doch darin liegt kein Widerspruch, denn die Lebens- bzw. Umweltverhältnisse (ökologische Nischen) sind für jedes Lebewesen anders, etwa für eine Stabheuschrecke oder Blattwanze, eine ‚Fliege‘ (Orchideenart), eine Sumpfdotterblume oder einen Kaktus. Jeder dieser Organismen bildet bestimmte Umweltverhältnisse im evolutionären Anpassungsprozeß ab.“[64]

Was artverwandte und sich in ihrer geographischen Verbreitung berührende Arten voneinander reproduktiv isoliert, kann verschiedenen Charakters sein. Es reicht von unterschiedlichen Lebensstätten und Lebensweisen oder Verhaltensunterschieden bis

63 E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, a. a. O., S. 219.
64 R. Sinz, Chronopsychophysiologie, Berlin 1980, S. 217.

zu Unterschieden des Fortpflanzungs- und Vererbungsmechanismus. *Reproduktive Isolation* kann dadurch zum Ausdruck kommen, dass keine oder nur unfruchtbare Artbastarde entstehen, doch ist dies keine notwendige Bedingung. Viele andere artspezifische Eigenschaften und Prozesse, gewöhnlich sind es mehrere, können ebenfalls als Evolutionsfaktor Isolation in Erscheinung treten und einen Genfluss zwischen Arten verhindern. Reproduktive Isoliertheit ist eine unabdingbare Eigenschaft der sich zweieltrig-sexuell reproduzierenden Arten, aber nicht notwendig ihrer Individuen. Die Frage nach der Entstehung der Arten wird damit zur Frage nach der Entstehung der reproduktiven Isolation.

„Genetischer Wandel im Artrahmen und Artspaltung (Speziation) sind Grundprozesse der Evolution. Der Unterschied zwischen beiden liegt nicht im Ausmaß der Veränderungen. Besonders in Schullehrbüchern begegnet uns noch immer die falsche Gedankenführung, daß im Artrahmen mehr oder minder geringfügige Wandlungen ablaufen, die über hinlänglich lange Zeiträume einen Summierungseffekt ergeben, der schließlich ‚sogar' Artrang erreichen kann. Die Speziation ist keine Steigerung des Wandels im Artrahmen. Innerhalb des Artrahmens (infraspezifisch) können sich sehr erhebliche räumliche und zeitliche Wandlungen vollziehen und das Wesentliche an der Speziation ist nicht das Ausmaß des morphologischen (ökologischen und physiologischen) Wandels, der möglicherweise in ihrem Gefolge auftritt, sondern die Herausbildung der reproduktiven Isolation, die den vormals zwischen Populationen einer Art bestehenden genetischen Austausch beendet", stellt K. Senglaub fest.[65]

Seit 1972 wird über *Sprünge*, über Unterbrechungen der Kontinuität *in der Evolution auf dem Populations- und Artniveau* diskutiert. In diesem Jahr publizierten *Eldredge* und *Gould* erstmals ihre Theorie vom „unterbrochenen Gleichgewicht" („punctuated equilibrium"), die die Evolution auf dieser Ebene in der Einheit von Kontinuität und Diskontinuität begreift.[66] Mit ihr wenden sie sich gegen den in der Geschichte des Darwinismus dominierenden Gradualismus, die Vorstellung von der Organismenevolution als einen mit kleinen Veränderungsschritten in großen Zeiträumen langsam und allmählich fortschreitenden Vorgang.

Bereits T. H. Huxley hatte Darwin brieflich gewarnt, „daß Sie sich mit der so rückhaltlosen Annahme des Natura non facit saltum[67] eine unnötige Schwierigkeit aufgebürdet haben."[68] „*Natura non facit saltum*" wiederholt *Darwin* mehr als einmal.

65 K. Senglaub, Zur Theorie der Speziation, in: Säugetierkundliche Informationen, 3/1979, S. 3.
66 Vgl. N. Eldredge/S. J. Gould, Punctuated equilibria: An alternative to phyletic gradualism, in: T. J. M. Schopf (ed.), Models in paleobiology, San Francisco 1972; S. J. Gould/N. Eldredge, Punctuated equilibria: The tempo and mode of evolution reconsidered , in: Paleobiology, 3/1977, S. 115-151; S. J. Gould/N. Eldredge, Punctuated equilibrium at the third stage, in: Systematic Zoology, 1/1986.
67 Die Natur macht keine Sprünge.
68 F. Darwin (Hrsg.), Leben und Briefe von Charles Darwin, Bd. 2, Stuttgart 1887, S. 226.

Für ihn waren Sprünge in erster Linie unvermittelt, ohne Zusammenhang mit dem voraufgegangenen Naturgeschehen auftretende Ereignisse, deren Annahme er aus dem Katastrophismus Cuviers und seiner Nachfolger und aus kreationistischen Behauptungen vom plötzlichen Auftreten neuer Organismenformen auf Grund übernatürlicher Eingriffe kannte. „Natura non facit saltum" bedeutete ihm daher primär eine Gegenposition zu Katastrophismus und Kreationismus. Doch ohne diesen Aspekt abzuschwächen, gelangte er auch dazu, den Satz zu relativieren: Er sei „etwas übertrieben", sei „teilweise unrichtig", schrieb er beispielsweise.[69] Darüber hinaus finden sich bei ihm Aussagen über die Evolution der Arten, die sich *dialektischer* Charakteristik des Verhältnisses von Kontinuität und sprunghafter, aber nicht unvermittelter Diskontinuität nähern, z. B. diese: „Viele Arten unterliegen nach ihrer ersten Entstehung keiner Veränderung, sondern sterben ohne modifizierte Nachkommen aus, und die Perioden, innerhalb derer die Arten Abänderungen erleiden, sind zwar nach Jahren gemessen lang gewesen, wahrscheinlich aber nur kurz im Vergleich zu den Zeiträumen, während der sie ihre Form unverändert beibehielten."[70]

So enthielten Darwins vordergründig gradualistisches Konzept und ebenso die ihm folgende Evolutionstheorie Momente, die dem Gradualismus widersprachen, ohne dass dies reflektiert worden wäre. Dem stand auch die immer wieder erforderliche Auseinandersetzung mit metaphysischem Saltationismus als antidarwinistischer Evolutionskonzeption im Wege, die den Gradualismus betonen ließ. Nicht zuletzt bestand Darwin für die erd- und lebensgeschichtliche Vergangenheit auf der Anwendung des Satzes „Natura non facit saltum". Als Argument angesichts mangelnder Belege durch die fossile Überlieferung beschwor er deren überaus große Lückenhaftigkeit und betonte: „Wer die Voraussetzung einer Unvollständigkeit unserer geologischen Urkunden verwirft, verwirft damit meine ganze Theorie. Vergeblich wird er dann nach all den zahlreichen Übergangsgliedern fragen, die früher die in den aufeinanderfolgenden Schichten einer großen Formation liegenden verwandten oder repräsentativen Arten verbanden."[71]

Eldredge und Gould vertreten nun, dass zwei herausragende Tatbestände der fossilen Überlieferung – das geologisch „plötzliche" Auftreten der Arten und das Fehlen anschließender Veränderungen (Stasis) – Voraussagen der modernen Evolutionstheorie und nicht Unvollkommenheiten der fossilen Überlieferung entsprechen. Nicht der Darwinismus, wohl aber der *Gradualismus* werde damit *verworfen.* Entstünden doch nach den meisten Speziationskonzeptionen neue Arten aus kleinen isolierten Populationen, und der Speziationsvorgang währe Tausende oder Zehntausende von Jahren. Diese im Vergleich mit der Dauer des Menschenlebens lange Zeitspanne entspreche einer geologischen Mikrosekunde. Sie sei viel kürzer als 1 Prozent der

69 Ch. Darwin, Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl, Leipzig 1984, S. 207 und 220.
70 Ebenda, S. 513.
71 Ebenda, S. 397.

durchschnittlichen Lebensdauer einer fossilen *Art* wirbelloser Tiere, die mehr als 10 Millionen Jahre betrage. Andererseits sei bei großen und weitverbreiteten Arten, die sich durchgesetzt haben, nicht zu erwarten, dass sie sich sehr viel verändern. Eldredge und Gould nehmen an, dass die Trägheit großer Populationen die Stasis der meisten fossilen Arten über Millionen von Jahren erklärt.

Punktualistisches wie gradualistisches Evolutionsmodell implizieren – wie P. F. A. Maderson und Mitautoren betonen – die Evolution der Arten auf sich verzweigenden Linien und die phänotypische Divergenz ihrer Individuen. Der Unterschied der Konzeption bezieht sich darauf, wie die Herausbildung der phänotypischen Divergenz in der Zeit verteilt ist, auf die phänotypische Divergenzrate. Beim extrem punktualistischen Modus sei alle Divergenz wesentlich in den Speziationsvorgängen konzentriert, denen phänotypische Stasis folgt. Beim gradualistischen Evolutionsmodell hingegen sei die Divergenzrate variabel, aber hauptsächlich auf die Linie konzentriert, die durch die Art in der Zeit repräsentiert wird. Formiert würden die Arten hauptsächlich durch den innerartlichen Wandel nach der Aufspaltung der Mutterart. „Es ist aber keine Frage, daß sowohl Stasis mit punktueller Unterbrechung als auch graduelle, kontinuierliche Evolution auftreten: Die Debatte betrifft die relative Häufigkeit der Extreme dieser Modi.“[72] Was die Sprung-Problematik hinsichtlich des hier als „gradualistisch“ bezeichneten Evolutionsmodells betrifft, ist zu bedenken, dass alle modernen Speziationskonzepte mit der Entstehung der reproduktiven Isolation eine *diskontinuierliche Übergangsphase* annehmen.

Eine wichtige Weiterung der Theorie des unterbrochenen Gleichgewichts ist eine neue Erklärung für evolutive Trends, für phänotypische Merkmalsänderungen in eine bestimmte Richtung, die sich in der fossilen Überlieferung abzeichnen. Sie gehen nach Eldredge und Gould nicht auf eine graduelle Umbildung in bestimmten Evolutionslinien zurück, sondern erwachsen aus dem unterschiedlichen Erfolg bestimmter Sorten von Arten. Ein stammesgeschichtlicher Erfolg gleiche mehr dem Ersteigen einer Treppe (Unterbrechung und Stasis) als dem Hinaufrollen auf einer schiefen Ebene. Damit zeichnet sich für die Evolution auf dem Populations- und Artniveau ab: „Populationen verändern sich, wie sich die Häufigkeit bestimmter Gene verändert, weil die Individuen, die sie in sich tragen, mehr oder weniger Erfolg beim Hervorbringen von Nachkommen haben; neue Arten entstehen durch die Abspaltung von Nachkommenpopulationen von ihren Vorfahren; und evolutionäre Trends treten auf, weil einige Arten erfolgreicher sind, sich zu verzweigen und zu bestehen.“[73]

Bisher war von Arten sich zweieiltrig-geschlechtlich fortpflanzender Lebewesen, von Arten im Sinne der biologischen Artkonzeption die Rede. Aber viele Organis-

72 T. F. A. Maderson et al., The role of development in macroevolutionary change, in: T. J. Bonner (ed.), Evolution and Development, Berlin (West) – Heidelberg – New York 1982, S. 286.
73 S. J. Gould, Hen's Teeth and Horses Toes, a. a. O., S. 334; vgl. S. J. Gould, Is a new and general theory of evolution emerging?, in: Paleobiology, 6/1980, S. 119-130.

mengruppen pflanzen sich nicht zweieltrig-geschlechtlich fort, sondern durchgängig eineltrig, also selbstbefruchtend, parthenogenetisch, vegetativ usw. Auch bei ihnen spricht man konventionell von Arten und klassifiziert sie als solche. Doch Arten gemäß der biologischen Artkonzeption und ihrer Artdefinition sind es nicht. Angesichts dieser Sachlage ergibt sich die *Frage*, ob die *Systemauffassung der Art* so weiterentwickelt werden kann, dass die *Eineltrigen* mit erfasst werden, ohne dass die Errungenschaften der biologischen Artkonzeption als einer speziellen Fassung der Systemauffassung der Art preisgegeben werden. Damit steht oder fällt zugleich die prinzipielle Auffassung der Art als eine der primären und grundlegenden Organisationsformen des Lebenden.

Morphologische Ähnlichkeit der Individuen ist bei Gruppen sich eineltrig fortpflanzender Organismen wie bei Arten zweieltriger Organismen gegeben und indiziert ihre Zusammengehörigkeit und Integration in ökologische Beziehungsgefüge. Was bei den Eineltrigen fehlt, ist die bei den Zweieltrigen durch die Sexualität vermittelte Integration der Gene zum von der Selektion geformten integrierten und ausbalancierten Artgenom. Weiter ist die Bedeutung der Eineltrigkeit bei Prokaryoten und Eukaryoten sowie bei pflanzlichen und tierlichen Eukaryoten unterschiedlich.

Bei den *Eukaryoten* haben die heutigen Eineltrigen zweieltrige stammesgeschichtliche Vorfahren, ist Zweieltrigkeit das phylogenetisch Ursprünglichere und Eineltrigkeit demgegenüber eine sekundäre, abgeleitete Erscheinung. Sie ist Ausdruck von Evolutionswegen und Evolutionsweisen im Rahmen allgemeiner Evolutionsgesetzlichkeit, die mit den Lebensbedingungen und der Lebensweise der betreffenden Organismengruppen wesentlich verbunden sind, ist Ergebnis der gemeinsamen evolutionären Vergangenheit dieser Gruppen. Die *Prokaryoten* lassen sich selbstverständlich nicht von zweieltrigen Eukaryoten ableiten, vielmehr ist das Umgekehrte die Aufgabe. Ob die bei Prokaryoten stattfindende genetische Rekombination durch parasexuelle Vorgänge etwas den Arten zweieltriger Eukaryoten Vergleichbares konstituiert und wie der stammesgeschichtliche Zusammenhang zwischen prokaryotischer Parasexualität und eukaryotischer Sexualität ist, sind offene Fragen.

Auf der gemeinsamen evolutionären Vergangenheit und der ökologischen Integration beruht, dass die „Arten" eineltriger Organismen den Arten im Sinne der biologischen Artkonzeption vergleichbare natürliche Einheiten „überorganismische" materielle Systeme sind. Beide Formen überorganismischer Systeme gehören zu einem Typ materieller Systeme, die A. A. Malinowski *„diskrete" oder „korpuskulare" Systeme* genannt hat. Sie unterscheiden sich durch den Grad ihrer Organisiertheit. Die Arten sich sowohl eineltrig als auch zweieltrig fortpflanzender eukaryotischer Organismen stellen einen Übergang zwischen beiden Formen überorganismischer Systeme her. Auch die prokaryotischen Organismen bilden solche diskreten oder korpuskularen Systeme.

„Diese Systeme vereinigt die gleichartige Beziehung zur Umgebung, die sie zwingt, sich ähnlich zu verhalten, auch ohne direkte Beziehung miteinander. Ein anschauliches Beispiel solcher Systeme in der nichtlebenden Natur bildet die Bewegung einzelner Sandkörnchen in einem Fluß, die zwar nicht miteinander verbunden sind, aber infolge

ihrer Ähnlichkeit in Gestalt und Gewicht trotzdem am gleichen Ort abgelagert werden und mächtige Anschwemmungen in Form von Sandbänken und Landzungen bilden können", schreibt Malinowski.[74]

Er zeigt, dass Systeme dieses Typs im Lebenden weit verbreitet sind, und führt dabei auch die Arten an. In reiner Form bestehen solche Systeme aus Elementen, die praktisch nicht untereinander verbunden sind, wie dies bei obligatorisch eineltrigen Eukaryoten der Fall ist. Demgegenüber besitzen die Arten zweieltriger Organismen durch die Rekombination der Gene und den dadurch konstituierten Genpool einen höheren Grad der Organisiertheit.

Eineltrige „Arten" und zweieltrige Arten sind vom gleichen Systemtyp und befinden sich auf der gleichen Strukturebene des Lebenden. Das rechtfertigte es, eine der biologischen Artkonzeption gegenüber *weitere Fassung des Artbegriffs* anzustreben, eine über diese Konzeption hinausgehende und sie als spezielle Fassung einschließende *Systemauffassung der Art.* In dieser Richtung liegen die von *Žavadskij* herausgestellten beiden Prinzipien der Universalität der Art und der Ungleichwertigkeit der Arten. Das *Prinzip der Universalität der Art* besagt, dass alle Organismen in Arten integriert sind, das *Prinzip der Ungleichwertigkeit der Arten*, dass es verschiedene Formen von Arten gibt, deren eine in der biologischen Artkonzeption erfaßt ist.[75]

Žavadskij charakterisiert die *Art als eine der fundamentalen Existenzformen des Lebenden*, die ein besonderes, überindividuelles Organisationsniveau des Lebenden repräsentiert. Als statistisch determiniertes System und Wirkungsfeld der natürlichen Auslese könne die Art sich lange Zeit selbst reproduzieren und mit unbestimmter Dauer existieren wie auch selbständig evolutionär entwickeln. Sie sei Träger und grundlegende Einheit des Evolutionsprozesses. Weiter zeigt Žavadskij die der Art innewohnende *dialektische Widersprüchlichkeit*: Als Resultat der Evolution befindet sie sich in einem relativ stabilen Zustand, ist qualitativ bestimmt, ein Ganzes, an eine gegebene Umwelt angepasst, stabil, von anderen Arten abgesonderte diskontinuierliche Einheit. Aber als Knotenpunkt der Evolution ist sie weniger bestimmt, von zusammengesetzter Natur, veränderlich, labil, besitzt sie fließende Grenzen.

Wenn die Art zugleich universale und verschieden beschaffene Organisationsform des Lebenden ist, muss es gemeinsame, allgemeine Merkmale aller verschiedenwertigen Arten gehen. Žavadskij nennt zehn solcher allgemeinen Merkmale:

1. *Vielheit*. Die Art umschließt eine große Anzahl von Individuen, d. h. sie existiert als überindividuelles Gebilde. Die Existenz der Art als Vielheit gehört zu ihren qualitativen Kennzeichen.

2. *Typ der Organisation.* Die Art besitzt eine einheitliche genetische Grundlage. Die genotypische Einheit der Art zeigt sich in der Spezifik des Systems DNS-RNS-

74 A. A. Malinowski, Einige Fragen der Organisation biologischer Systeme, in: Organisation und Leitung, Berlin 1969, S. 138 f.
75 Vgl. K. M. Žavadskij, Vid i vidoobrazovanie, Leningrad 1968, S. 157 ff.

Protein, in der Ähnlichkeit des Typs der Stoffwechselreaktionen, der morphogenetischen Prozesse, des inneren Baus und der äußeren Gestalt der Individuen, aber auch in der Ähnlichkeit der innerartlichen Beziehungen in den Populationen. Die Art ist ein relativ homogenes (isomorphes) Gebilde. Ihr Organisationstyp gibt ihr die Qualität einer besonderen Einheit.

3. *Reproduktion.* Die Art ist ein sich in der Natur selbständig reproduzierendes Gebilde, das fähig ist, im Prozess der Vermehrung und Generationenfolge der Individuen seine qualitative Bestimmtheit zu erhalten.

4. *Diskontinuität* (Diskretheit). Die Art ist etwas Einzelnes, das als mehr oder weniger abgesondertes (isoliertes) Gebilde existiert und sich entwickelt.

5. *Ökologische Bestimmtheit.* Die Art ist an Existenzbedingungen angepasst und konkurrenzfähig. Sie besitzt einen bestimmten besonderen Platz in ökologischen Systemen und tritt als besonderes Glied im Umlauf der Stoffe und in den Wechselbeziehungen des Lebenden in Erscheinung.

6. *Geographische Bestimmtheit.* Die Art besiedelt in der Natur ein bestimmtes Territorium. Das Areal ist in der Regel ein obligatorischer Zug, der zum Charakter der Art gehört.

7. *Formenmannigfaltigkeit.* Die Art ist in sich differenziert und besitzt eine innere Struktur. Sie schließt viele gleichartige Formen ein und tritt als System in Erscheinung, dessen spezifische grundlegende Einheit die lokale Population (System von Klonen oder reinen Linien) oder aber eine zweieltrige Fortpflanzungsgemeinschaft ist.

8. *Historizität.* Die Art ist ein zu evolutionärer Entwicklung fähiges System. Die Historizität der Art äußert sich in ihrer zeitlichen Existenz als besonderer phylogenetischer Zweig (Art in der Zeit oder Phratrie).

9. *Widerstandfähigkeit.* Die Art besitzt keine vorgegebene, endogen bestimmte Existenzdauer in der Natur. Ihre Fähigkeit, sich im Verlaufe eines gewissen geologischen Zeitraumes ihre qualitative Bestimmtheit zu erhalten, ist ein spezifischer Zug der Art.

10. *Ganzheit.* Die Art stellt eine Abstammungsgemeinschaft dar, die durch innere Beziehungen vereinigt ist, und kein additives Gebilde, keine Stimme von Individuen. Die Art ist eine überindividuelle Organisationsform der lebenden Materie.[76]

Arten sind nach Žavadskij solche und nur solche Gebilde, denen alle zehn aufgeführten Merkmale eigen sind. Sie gehören zur Charakteristik jeder beliebigen Art, unabhängig von der Fortpflanzungsweise, der Organisationshöhe, der Ernährungsweise usw. Diese Konzeption der Art gibt den weitergehenden Problemen des vergleichend-systematischen Studiums der Arten als Organisationsform des Lebenden, ihrer Typologie und Klassifikation, ihrer inneren Struktur, der Artbildung (Speziation) sowie der Evolution der Art als Organisationsform des Lebenden eine breite und solide Basis und fordert solche Untersuchungen heraus. Primär durch sie

76 Vgl. ebenda, S. 167 ff.; W. F. Sershantow, Einführung in die Methodologie der modernen Biologie, Jena 1978, S. 158 ff.

und kaum durch die Konfrontation von Artdefinitionen ist der weitere Fortgang der Lösung des Artproblems zu erwarten. Sie läuft unmittelbar weniger auf eine neue Definition als vielmehr auf eine *umfassende Theorie der Art* hinaus, deren Fazit eine Definition nur sein kann.

4. Individualentwicklung und Evolution

„Die individuelle Entwicklung ist nur als Teil der phylogenetischen Entwicklung der Art verständlich und nicht umgekehrt. Die Ontogenese nimmt einen bestimmten Verlauf, weil sie ein Teil einer zyklischen (genauer: einer spiraligen) Aufeinanderfolge der Entwicklungen der Vorfahren ist. Organe in einem sich entwickelnden Individuum werden für zukünftigen Gebrauch gebildet, weil sie in der Evolution für den gleichzeitigen Nutzen gebildet wurden. Man kann sagen, daß die Entwicklung des Individuums mit dem Tode endet; ein besserer Weg zum Verständnis besteht darin, zu sagen, daß es in der Nachkommenschaft fortbesteht. Es ist ein Teil des Prozesses der Aufspeicherung der genetischen Information, der durch die Zeit andauert", vermerkt Dobzhansky zum Verhältnis von organismischer Individualentwicklung und Evolution der Arten.[77]

Die *Individualentwicklung der Lebewesen* könne, so Dobzhansky, mit dem Bau eines Automobils oder einer anderen komplizierten Maschine auf einem Fließband verglichen werden – sie werden für zukünftigen Gebrauch hergestellt. Die *Phylogenese* hingegen gleiche mehr der stufenweisen Herausbildung der gegenwärtigen Automodelle aus primitiveren und eventuell aus Kutschen und anderen Wagen. Die natürliche Auslese übernehme dabei die Rolle des Ingenieurs – sie erfinde sowohl die Wege zur Verbesserung der Modelle als auch die Techniken ihrer Herstellung.

Damit wird einmal hervorgehoben, welche Bedeutung es für das Verständnis der Individualentwicklung hat, sie sub specie evolutionis zu betrachten, zum andern aber, dass die Entwicklung der lebenden Einzelwesen und die Evolutionsprozesse zwei wesentlich verschiedene Klassen von Entwicklungsvorgängen sind. Ein prinzipieller Unterschied zwischen beiden Klassen von Entwicklungsvorgängen besteht darin, dass der *Individualentwicklung* ein *Programm*, das mit der Erbinformation gegebene genetische Programm, zugrunde liegt, der *Evolution* aber keines. Während die Evolution *nicht vorprogrammiert* ist, ist sie der Vorgang, in dem *die genetischen Programme entstehen*. Die Prozesse der Evolution des Lebenden übergreifen diejenigen der Individualentwicklung; sie schließen die Evolution der Individualentwicklung ein. In der *Evolution der Individualentwicklung* manifestiert sich die Evolution des Lebenden auf der Ebene der Organismen.

Die Individualentwicklung, verstanden als das Werden und Vergehen der einzelnen Organismen, ist deren Daseinsweise. Was Dobzhansky über das Entstehen der

77 Th. Dobzhansky, Mendelism, Darwinism and Evolutionism, in: Proceedings of the American Philosophical Society, 4/1965, S. 211.

Organe in ihr für zukünftigen Gebrauch konstatiert, bezieht sich auf das Werden des Organismus, auf die aufsteigende Phase seiner Entwicklung, die währt, bis er erwachsen und fortpflanzungsfähig ist. Dem folgt eine relativ stationäre Phase des Erwachsenseins und schließlich eine regressive Phase, die mit dem natürlichen oder physiologischen (im Unterschied zum „vorzeitigen" pathologischen oder akzidentellen) Tode endet. Dieser Individualzyklus ist auf der organismischen Ebene des Lebenden in einen übergreifenden Zyklus integriert: Er ist ein Abschnitt, ein Teil der Ontogenese.

Die *Ontogenese* ist ein *ganzheitlicher Zyklus* auf der organismischen Ebene des Lebenden, der aus den Zusammenhängen von Sexualität (Reduktion der Chromosomenzahl durch Meiosis und Befruchtung) und Fortpflanzung resultiert.[78] Er wird durch den Kernphasenwechsel in aufeinanderfolgenden Zellgenerationen konstituiert und besteht aus Haplophase und Diplophase, d. h. aus Zellen mit haploidem und Zellen mit diploidem Chromosomensatz. Durch die Reduktionsteilung (Meiose) erfolgt der Übergang von der Haplophase zur Diplophase. In der Mannigfaltigkeit der Arten tritt der Kernphasenwechsel in unterschiedlicher Weise in Erscheinung, so mit zygotischer Reduktion (z. B. bei Schimmelpilzen), mit genetischer Reduktion (z. B. bei Kieselalgen, Blasentangen und fast allen Vielzellern) und als mit Generationswechsel verbundener Kernphasenwechsel (z. B. bei Laubmoosen und Farnen).

Der Ontogenesezyklus ist ein raum-zeitliches Ganzes, dessen Teile Individuen (genauer: Individualzyklen) sind, die zeitlich aufeinanderfolgen. In der Aufeinanderfolge der Individuen öffnet sich der Kreislauf des Kernphasenwechsels zur Spirale. Durch die erweiterte Reproduktion, die Vermehrung, verzweigt sich die Spirale. Durch die Befruchtung bei der Fortpflanzung vernetzen sich die sich verzweigenden Spiralen im Rahmen der Art. Sich in der Zeit vorwärtsschraubend, verwirklichen sie die Kontinuität organismischen Lebens im Wechsel der werdenden und vergehenden Individuen. Von Zelle zu Zelle und von Individuum zu Individuum erfolgt die Weitergabe der Gene, verbunden mit ihrer Rekombination bei der Fortpflanzung. Die Gesamtheit der gleichzeitig existierenden Individuen der Art trägt deren Genpool in sich, der Anteil jedes Individuums liegt seiner Entwicklung zugrunde.

An der Erforschung der Ontogenese und Individualentwicklung unter dem Aspekt aktualer Determiniertheit wie unter evolutionärem Aspekt sind mehrere Teilwissenschaften und Forschungsrichtungen der Biologie beteiligt. Im Zentrum der Erforschung der aktualen Determiniertheit steht die *Entwicklungsphysiologie*. Seit ihren Anfängen im ausgehenden 19. Jahrhundert ist logisch erschlossen, dass die Erklärung für die Individualentwicklung des vielzelligen Organismus über Zellteilung und -differenzierung, Musterbildung der Zellen und Morphogenese, Wachstum, Metamorphosen und das Altern bis zum Tode ebenso wie für Regenerationsleistungen und die Reaktionen der Immunabwehr letztlich zu den Genen und anderen Strukturen

78 Vgl. M. Schellhorn, Probleme der Struktur, Organisation und Evolution biologischer Systeme, Jena 1969, S. 79 ff.

der Ausgangszellen dieser Entwicklung führt, verbunden mit inneren und äußeren Wechselwirkungen des sich entwickelnden Organismus.

Die Fortschritte der Entwicklungsphysiologie verdrängten idealistisch-vitalistische wie mechanizistische Fehldeutungen der organismischen Formbildung aus der Biologie. Der alte Streit zwischen Präformisten und Epigenetikern hat sich als metaphysische Alternative erwiesen, während die Frage nach dem Verhältnis präformierter und epigenetischer Momente durch Evolutionstheorie, Zytologie und Genetik neue theoretische Voraussetzungen bekam. Die Begriffe der Präformation und auch der Epigenese gewannen durch die genetische Information bzw. des genetischen Programms neue Inhalte, die in der Frage Ausdruck finden, was aus der Instruktion der Gene resultiert und was aus der Wechselwirkung ihrer Produkte und den Einflüssen der Umwelt und wie die verschiedenen Faktoren kausal und konditional ineinandergreifen.

Mit der Entstehung der *Phänogenetik* beginnend, führten die Probleme der Individualentwicklung zum Zusammenwirken biochemischer, molekularbiologischer, morphologischer, physiologischer, biophysikalischer, biokybernetischer, genetischer immunbiologischer u. a. Forschungsrichtungen, mit denen sich das traditionelle Gebiet deskriptiver Embryologie und experimenteller Entwicklungsphysiologie zur *komplexen Entwicklungsbiologie* gestaltet. Wie H. W. Sauer vermerkt, sind die vorliegenden Beobachtungen und Konzepte zur Individualentwicklung bislang gleichsam Puzzlesteine, die noch nicht recht zusammenpassen. „Wo versucht wurde, eine solche Theorie aufzustellen, gewann sie ihre Bedeutung eher durch die Überzeugungskraft starker Persönlichkeiten als durch die vorliegenden Fakten.“[79]

Zelldifferenzierung, Musterbildung und Formveränderung sind die drei hauptsächlichen Prozesse in der Entstehung eines erwachsenen vielzelligen Tieres. Die *Zelldifferenzierung* ist der Prozess, durch den die verschiedenen histologisch unterscheidbaren Zelltypen entstehen, z. B. Muskeln, Knorpel, Nervenzellen, rote Blutkörperchen, adrenalinerzeugende Zellen und Leberzellen. Wirbeltiere enthalten mehr als 200 solcher Zelltypen. Sie sind durch besondere Makromoleküle charakterisiert; die roten Blutkörperchen z. B. enthalten Hämoglobin. Das Problem bei der Zelldifferenzierung besteht darin, wie die Besonderheiten dieser Zellen hinsichtlich der Synthese spezifischer Makromoleküle, speziell die zugrundeliegenden spezifischen Genaktivitäten, zustande kommen.

Die *Musterbildung* ist der Prozess, durch den die räumlichen Muster der Zelldifferenzierung herausgesondert werden. Verschiedene Muster können auf denselben Klassen von Zelldifferenzierungen beruhen. So sind die räumlichen Muster von Arm und Bein verschieden, aber die Zelltypen dieselben – Muskel, Knorpel usw. Das gesamte Skelett- und Muskelsystem kann als räumliche Variation einiger weniger Zelltypen angesehen werden.

79 H. W. Sauer, Entwicklungsbiologie, Berlin (West) – Heidelberg – New York 1980, S. 295.

Bei der *Formveränderung* schließlich geht es um die Kräfte, die Veränderungen in der Gestalt des Embryos hervorbringen, z. B. die Gastrulation des Seeigels oder die Faltung der Neuralplatte, um das Neuralrohr zu formen. Solche Formveränderungen werden durch Kontraktionskräfte hervorgebracht. Die Spezifizierung der Zellen im Embryo, die diese Kräfte erzeugen, können als Teil der Musterbildung angesehen werden.

Grundlegend für die moderne theoretische Reflexion der Individualentwicklung wurde *Weismanns „Keimplasma-Theorie der Vererbung*". Sie sollte die Darwinsche Variabilität-Selektionstheorie vererbungstheoretisch untermauern und bereitete dem Zusammenschluss von Darwinismus, Zellforschung, Genetik und Entwicklungsbiologie den Weg. Weismann erklärte die Individualentwicklung von Erbanlagen ausgehend, die er „Determinanten" nannte, und im „Kernplasma", den Chromosomen des Zellkerns, lokalisiert sah. Sein Determinanten-Begriff ist ein wichtiger Vorläufer des Genbegriffs. Die Determinanten würden in ihrer Gesamtheit als „Keimplasma" (Kernplasma der Keimzellen) über eine bestimmte Zellfolge, die „Keimbahn", bis zur Bildung der neuen Keimzellen befördert, während sie auf die anderen Zellen des sich entwickelnden Organismus ungleich aufgeteilt würden. Den Vorgängen der Individualentwicklung liege zugrunde, dass die Determinanten gesetzmäßig in immer kleinere Gruppen zerlegt würden. Schließlich sei in jeder Zelle nur noch eine Art von Determinanten enthalten, diejenige, die sie zu determinieren habe.

Weismann erwog noch ein anderes Entwicklungsmodell: „Wollte man die Annahme machen, daß alle Determinanten des Keimplasmas sämtliche Zellen der Ontogenese mitgegeben würden, so müßte man die gesamte Differenzierung des Körpers auf ein gesetzmäßig geregeltes Latentbleiben aller Determinanten mit Ausnahme *einer* bestimmten und für jede Zelle verschiednen beziehen, eine Vorstellung, die wohl der andern an Wahrscheinlichkeit nachsteht, daß in jede Zelle des definitiven Organismus ... nur eben die *eine* Determinante gelangt, welche sie zu bestimmen hat", meinte er.[80]

In der Folgezeit sprachen aber immer mehr Fakten gegen das von Weismann bevorzugte und für das von ihm ebenfalls bedachte, aber für unzutreffend gehaltene Entwicklungsmodell. Die prinzipielle Konstanz des Genoms und damit der gleiche Bestand an genetischer Information in allen Zellen des sich entwickelnden Organismus wurde zur anerkannten Lehrmeinung, mit der Konsequenz: Die Individualentwicklung basiert auf differentieller Genaktivierung, auf Vorgängen heterochroner und heterotoper Regulation der partiellen Umsetzung genetischer Information in den Zellen und Geweben in Stoffwechselprozesse und -produkte.

Doch waren bereits am Ende des 19. Jahrhunderts auch Vorgänge von obligatorischen Genomveränderungen während der Individualentwicklung bei einzelnen Arten bekannt. Heute können solche Veränderungen nicht mehr einfach als vernachlässigbare Ausnahmen von der Regel registriert werden. Mannigfaltige Genomveränderungen spielen bei bestimmten wichtigen Differenzierungsvorgängen

80 A. Weismann, Das Keimplasma. Eine Theorie der Vererbung. Jena 1892, S. 86.

in der Individualentwicklung eine Rolle, bei den Säugetieren z. B. vom Verlust des Zellkerns bei den sich bildenden roten Blutkörperchen bis zu dem Umstand, dass die Immunglobulin-Gene in den Antikörper bildenden Stammzellen aus Vorstufen erst individuell zusammengesetzt werden und die schier unerschöpfliche Vielfalt der Antikörper ermöglichen. Allerdings sind solche Genomveränderungen nicht – wie in Weismanns Konzept von der erbungsgleichen Kernteilung als grundlegender Vorgang der Individualentwicklung – Ursache, sondern Folge und Bestandteil bestimmter Zelldifferenzierungsvorgänge.[81]

Bei der Erklärung der Zelldifferenzierung und Musterbildung geht es darum, die Wechselbeziehungen zwischen dem Genom der Zellen und anderen Faktoren aufzudecken. Moderne theoretische Konzepte fußen auf dem stoffwechselphysiologischen und biologischen Verständnis dieser Prozesse anstrebenden Gradienten und Feldtheorien der Entwicklungsphysiologie.[82] Eine ihrer Weiterentwicklungen ist die Hypothese L. Wolperts von der „Positionsinformation"[83]. In ihr wird die Musterbildung als Ausbildung nicht äquivalenter Zellzustände angesehen, deren es sehr viel mehr gibt als histologische Zelltypen. Die Ausbildung solcher nichtäquivalenter Zellzustände wird als ein in zwei Schritten verlaufender Prozess vorgestellt. In ihm nehmen die Zellen zunächst bestimmte Positionen ein, die modellhaft als Positionen in einem Koordinatensystem gedacht werden können. Damit erhalten sie einen von ihrer Position abhängigen Positionswert. Dieser wird sodann in eine entsprechende Zelldifferenzierung umgesetzt, der von der genetischen Konstitution der Zelle und ihrer vorangegangenen Entwicklungsgeschichte abhängt.

„Differenzierung setzt Vektoren voraus – morphogenetische Felder und Gradienten, Polarität, was immer das konkret auch heißen mag. Genprodukte haben aber gewöhnlich die Eigenschaft von Skalaren. Sie müssen Vektoren vorfinden, um sich richtig einordnen zu können; so wie ja auch die Steuerung der Genaktivität einem zeitlichen Muster folgen muß ... Moderne Präformisten sehen die Strukturordnungen

81 Vgl. D. Ammermann, Die Zellkerne des ciliaten Stylonychia mytilus, in: Biologie in unserer Zeit, 2/1978, S. 40-44; R. Hagemann, August Weismann – ein produktiver Denker für Genetik und Evolutionsbiologie, in: Biologische Rundschau, 6/1984, S. 353-367; P. Sitte, Keimplasma-Theorie und Genom-Konstanz, in: Freiburger Universitätsblätter, 87/88, 1985, S. 91-98; H. Ambrosius, Antikörperbildung nach den Regeln der Kombinatorik, in: Wissenschaft und Fortschritt, H. 1/1988, S. 1819.

82 Vgl. B. Bandlow, Philosophische Aspekte in der Entwicklungsphysiologie der Tiere, Jena 1970, S. 85 ff.; A. Gierer, Physik der biologischen Gestaltbildung, in: Die Naturwissenschaften, 5/1981. S. 245-251; H. Meinhardt, Eine Theorie der Steuerung der räumlichen Zelldifferenzierung, in: Biologie in unserer Zeit, 2/1979, S. 33-39.

83 Vgl. W. A. Müller, Positionsinformation und Musterbildung, in: Biologie in unseres Zeit, 5/1979, S. 135-140; L. Wolpert, Pattern Formation in Biological Development, in: Scientific American, 4/1978, S. 124-125, 128-134, 136-137; L. Wolpert, Pattern Formation and change, in: J. T. Bonner (Hrsg.), Evolution and Development, a. a. O.

aufeinanderfolgender Entwicklungsstadien durch einander bedingt: *structura e structura*[84]. Die modernen Epigenetiker interessieren sich dagegen für die *de novo*-Entstehung von Gradienten, Feldern, Symmetrien", charakterisiert P. Sitte die Problemsituation und die Fragestellungen in ihr, die die Forschung leiten.[85]

Für das Hervorgehen von Strukturen aus Strukturen gibt es nicht nur das Beispiel der DNA-Replikation. Sitte verweist auf die Kontinuität bei Biomembranen: „So leicht sich auch Lopid-Doppelfilme und Myelinfiguren durch *Self-Assembly* von Polarlipiden bilden können – in der lebenden Zelle gibt es offenbar keine *de novo*-Erscheinung einer Biomembran, sondern immer nur ein Wachstum schon vorhandener Membranen durch Einbau weiterer Moleküle und schließlich Abgliederung neuer Membranen und Kompartimente durch Membranfluß. Ganz allgemein scheint es nicht ausgeschlossen, daß die zusammen mit den Genen wirkenden, aber ganz andersartigen Determinanten der Merkmalsausprägung ein zweites zeitliches Kontinuum bilden neben dem der Nucleinsäuren, das nie ganz abreißen darf."[86]

Vielleicht müsse die Genetik eines Tages um eine heute noch ungeahnte Dimension erweitert werden, vermutet Sitte.

P. Alberch hebt hervor, dass die Prozesse der Individualentwicklung durch eine hierarchische Organisation charakterisiert sind, bei der drei Ebenen unterschieden werden können, mit Wechselwirkungen auf jeder dieser Ebenen und zwischen diesen Ebenen.[87] Die *erste Ebene* ist mit dem Genom gegeben, das kompartimentiert und hoch integriert ist. Seine Gene wechselwirken in komplexer Weise und kontrollieren die Muster der Proteinsynthese. Die *zweite Ebene* wird durch die Wechselwirkung zwischen Enzymen und anderen Proteinen gebildet, die nach physikalisch-chemischen Gesetzen zusammentreffen und wechselwirken.

Durch Wechselwirkungen auf dieser Ebene werden drei eigenständig bestimmte Klassen von Eigenschaften charakterisiert:

1. Eigenschaften von Zellen, die in die Morphogenese einbezogen sind (z. B. Adhäsion, Beweglichkeit und Kontraktilität der Zellen) werden direkt durch ihre molekularen Konstituenten bestimmt.

2. Proteine sind die direkten Vermittler induktiver Zelleigenschaften (z. B. können Oberflächenproteine als Hormonrezeptoren wirken).

3. Zellen erzeugen Proteine, die sich ausbreiten und mit Produkten anderer Zellen und ihrer Umgebung im Embryo wechselwirken können. Diese Muster biochemischer Aktivität können die Morphogenese beeinflussen, indem sie die Positionsinformation liefern, die von den Zellen in ihre musterbildende Differenzierung umgesetzt wird.

84 Strukturen aus Strukturen.
85 P. Sitte, Keimplasma-Theorie und Genom-Konstanz, a. a. O., S. 96 f.
86 Ebenda, S. 97.
87 Vgl. P. Alberch, Developmental Constraints in Evolutionary Processes, in: J. T. Bonner (Hrsg.), Evolution and Development, a. a. O., S. 330 f.

Die *dritte Ebene* ist die der Wechselwirkung zwischen Geweben, die in komplexer und gesetzmäßiger Weise stattfindet (z.B. die ektodermal-mesodermalen Wechselwirkungen bei der Gliedmaßenentwicklung).

Die zweite und die dritte Ebene sind die Domäne der epigenetischen Vorgänge. Alberch betont das Erfordernis, dafür makroskopische Variable (z. B. Zellbeweglichkeit, Kontaktinhibition) zu bestimmen, die – obwohl sie letztlich genetisch kontrolliert sind – erlauben, die Erzeugung der Morphogenese zu verstehen. Die morphogenetischen Prozesse seien als Ergebnis einer Reihe von „Montageregeln" zu charakterisieren. Ein Verständnis dieser – sehr oft einfachen – Regeln könne zu wertvollen Einsichten in die Komplexität vieler Entwicklungsprozesse führen und darüber hinaus gestatten, die Beziehungen zwischen verschiedenen Phänotypen zu bestimmen. Die Reihe möglicher phänotypischer Transformationen wird durch das Potential ihrer Erzeugung begrenzt, das mit den dem Prozess innewohnenden morphogenetischen Regeln gegeben ist. Auf Grund dieser Vorstellungen könne die Organismenevolution als Prozess phänotypischer Transformationen gesehen werden, der aus genetisch vermittelten Störungen dieser basalen Entwicklungsparameter in der Phylogenese resultiert.

Dass es in der *Individualentwicklung* in materieller Bedingtheit und Bestimmtheit *gesetzmäßig* zugeht, daran ist nicht zu zweifeln. Inwieweit die Individualentwicklung dabei durch die Gene programmiert ist, ist problematisch. G. Stent hat dazu anregende Überlegungen vorgetragen.[88] Demnach gehört die Individualentwicklung zu der großen Klasse regelmäßiger Erscheinungen, denen gemeinsam ist, dass eine bestimmte Reihe vorangegangener Schritte über eine mehr oder weniger invariante Folge von Zwischensehritten zu einer bestimmten Reihe von Folgen führt. Programmierte Erscheinungen seien jedoch nur eine kleine Teilklasse in der großen Klasse der regelmäßigen Erscheinungen, und fast alle seien mit menschlichen Aktivitäten verbunden. Damit eine Erscheinung zu den programmierten gehört, sei eine notwendige Bedingung, dass außer der Erscheinung selbst noch etwas zweites existiert: das Programm, dessen Struktur mit der Erscheinung isomorph ist, d. h. mit der Erscheinung in eine 1:1-Entsprechung gebracht werden kann.

Als Beispiel einer regelmäßigen Erscheinung, die programmiert ist, nennt Stent die Vorgänge, die mit einer Aufführung von Shakespeares „Hamlet" verbunden sind. Es gibt Shakespeares Text, und die Aktionen der Darsteller sind ihm isomorph. Aber solche nicht weniger regelmäßigen Erscheinungen wie die Aktivitäten des Hilfspersonals und der Zuschauer sind dadurch im wesentlichen nicht programmiert; ihre Regularität ist die fast autonomische Konsequenz des Kontextes der Vorstellungssituation.

Die Bildung der Proteine in den Zelollen der Lebewesen nun nennt eine der sehr wenigen regelmäßigen Erscheinungen, die von menschlichen Aktivitäten unabhängig sind und eine programmierte Komponente haben. Die Verbindung von Aminosäuren

88 Vgl. J. O. Gerhart et al., The Cellular Basis of Morphogenetic Change In: ebenda, S. 111 ff.

zu einer Polypeptidkette mit einer bestimmten Primärstruktur ist programmiert, weil es einen DNA-Strang gibt mit einer Nukleotid-Basenfolge, dem Gen, das mit der Ereignisfolge bei der Zusammenfügung der Aminosäuren isomorph ist. Die anschließende Zusammenfaltung der spezifischen Tertiärstruktur jedoch ist nicht programmiert, denn die dreidimensionale Konfiguration des Proteins ist die automatische Folge der gegebenen Bedingungen und hat keine isomorphe Entsprechung in der DNA.

Auf die Bildung der Polypeptidketten (und verschiedener Arten RNA) ist der Programmierungsaspekt in der Individualentwicklung Stent zufolge hauptsächlich beschränkt. Für den Gesamtvorgang aber sei es recht unwahrscheinlich, dass zwischen Gesamtfolge der Ereignisse und dem Genom Isomorphie bestehe. Die Tatsache, dass Mutationen eines Gens zu einem veränderten Phänotyp führen, zeige, dass die Gene Bestandteil der Kausalzusammenhänge sind, die zum erwachsenen Organismus führen, aber nicht, dass sie Bestandteile eines Programmes für die Individualentwicklung sind.

Stent verweist auf Untersuchungen der Entwicklung des Nervensystems, die gezeigt haben, dass die Vorstellung einer genetischen Programmierung nicht nur konzeptionell mangelhaft ist, sondern auch eine Fehldeutung der Kenntnisse, die aus der Untersuchung seiner Entwicklung bereits verfügbar sind. Über die Art und Weise seiner Bildung sei schon genügend bekannt, um es sehr unwahrscheinlich zu machen, dass es im einzelnen vorgegeben ist. Alle Indizien deuten darauf hin, dass der offensichtlichen Regelmäßigkeit der neuralen Entwicklung stochastische Prozesse zugrunde liegen. Mit anderen Worten, die Entwicklung des Nervensystems von der befruchteten Eizelle bis zum reifen Gehirn sei keine programmierte Erscheinung, sondern ein Geschehen, bei der einfach ein Ding zu einem anderen führt.

Den Unterschied zwischen einer *programmgemäßen Spezifizierung* und einem *stochastischen Geschehen* veranschaulicht Stent am Zustandekommen ökologischer Gemeinschaften durch eine Besiedlung von Inseln oder des Wachsen von Sekundärwäldern. In beiden Fällen handelt es sich um regelmäßige Erscheinungen in dem Sinne, dass eine mehr oder weniger vorhersagbare ökologische Struktur über ein stereotypes Muster von Zwischenschritten entsteht, in dem die relative Fülle verschiedener Typen des Pflanzen- und Tierbestandes in einer bestimmten Reihenfolge nacheinander auftritt. Die Regelmäßigkeit dieser Erscheinungen ist zweifellos nicht das Ergebnis eines Programmes, das im Genom der beteiligten Arten kodiert ist. Vielmehr entsteht sie durch eine historische Kaskade von komplexen stochastischen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Lebewesen – in denen Gene natürlich eine wichtige Rolle spielen – und den gegebenen Bedingungen.

Die angeführten Erwägungen über Zelldifferenzierung, Musterbildung und Formveränderung zeigen, wie der alte Streit um den präformistischen oder epigenetischen Charakter der Individualentwicklung in dialektisch aufgehobener Weise fortbesteht. Der Streit zwischen den Präformisten und Epigenetikern des 17. und 18. Jahrhunderts war naturphilosophischen Charakters und damals nicht durch Beobachtung und Experiment entscheidbar. Es ging um die Alternative, ob sich die Embryogenese

entweder als Entfaltung vorhandener Strukturen oder als Neubildung der Strukturen aus einem homogenen, unstrukturierten Ausgangszustand durch das Wirken materiell oder immateriell vorgestellter vitaler Kräfte vollzieht.

Die Perfektion der Mikroskopie, die Zellforschung und die experimentelle Embryologie, sowie die Entwicklungsphysiologie entzogen der Problematik ihren *naturphilosophischen* Charakter und ihre Alternativität; heute geht es *naturwissenschaftlich* um die Anteilsproportionen und näher zu spezifizierenden Wechselbeziehungen genetischer Programmiertheit und nichtprogrammierter epigenetischer Determiniertheit sowie den Mechanismus ihrer Wechselbeziehungen. Hypothetische Auffassungen darüber, die den empirischen Kenntnisstand überschreiten, gehören zu den heuristischen Stimuli der Forschung.

„Ein umfassendes Verständnis der Grundprozesse der biologischen Gestalt und Musterbildung erfordert schließlich eine Kombination physikalisch-mathematischer Analysen mit strukturellen biochemischen Erkenntnissen. Damit wird sowohl der reduktionistischen These widersprochen, der Nutzen der Mathematik beschränke sich auf die Aufstellung solcher Hypothesen, die die experimentelle Aufklärung molekularer Strukturen erleichtern, als auch der formalistischen Meinung, die Erklärung der Strukturbildung liege ausschließlich in formalen Prinzipien wie Katastrophe, dissipativen Strukturen, Bifurkationen usw., die von jedem chemischen Detail abstrahieren. Tatsächlich ist die biologische Form eine System-Eigenschaft, die sich ebenso wenig direkt aus der Struktur von Molekülen ablesen läßt wie die Form von Wolken und Wellen aus der chemischen Formel für Wasser. Auch wenn wir alle an der biologischen Formbildung beteiligten Moleküle kennen würden, wären außerdem phänomenologische Theorien und mathematische Fakten erforderlich, um die Form selbst zu verstehen. Andererseits wird eine rein mathematische Theorie auch dann, wenn sie Phänomene gut wiedergibt, so lange nicht befriedigen, wie sie nicht durch biochemische Fakten bestätigt wird", erklärt A. Gierer programmatisch zu den Erklärungsgrundlagen, auf denen moderne Entwicklungsbiologie beruht.[89]

Im relativen Erklärungswert des Materiellen und des Mathematischen sieht er den Gegenstand einer jahrtausendealten philosophischen Auseinandersetzung, die sich für die Mathematik auf Pythagoras und Plato, für die Materie auf Demokrit, Epikur und später Marx zurückführen lasse und wohl kaum im wissenschaftlichen Sinne objektiv entscheidbar wäre. Dem ist entgegenzuhalten, dass Mathematik und ihr Erklärungswert keineswegs an die idealistische philosophische Tradition Pythagoras und Platos gebunden sind. In den Marxschen Materialismus jedenfalls sind sie aufgenommen, der in der Mathematisierung der Wissenschaft alles andere als eine Gegenposition zu seinen Prinzipien sieht (vgl. Kap. II/3.5.).

Im *Evolutionsaspekt* treten andere Momente von Individualentwicklung und Ontogenese hervor:

89 A. Gierer, Physik der biologischen Gestaltbildung, a. a. O., S. 251.

1. In ihm bilden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Gesamtheit der Ontogenesen der rezenten Organismen seine wesentliche Seite der gradweise abgestuften Mannigfaltigkeit der Organismen, die durch die Deszendenztheorie als Resultat der Evolution erklärt wird;

2. dient der Vergleich der Ontogenesen bei verschiedenen Arten dem Nachweis stammesgeschichtlicher Beziehungen von Taxa durch die historische Phylogenetik. Dazu schrieb Darwin: „Mögen 2 oder mehrere Tiergruppen im erwachsenen Zustande noch so sehr im Bau und in der Lebensweise voneinander abweichen, wir können trotzdem, wenn sie sehr ähnliche embryonale Zustände durchlaufen, sicher sein, daß sie alle von derselben Stammform abstammen und also nahe verwandt sind. Gemeinsamkeit des embryonalen Baus bedeutet deshalb gemeinsame Abstammung; andererseits ist aber Ungleichheit der embryonalen Entwicklung noch kein Beweis für verschiedene Abstammung, denn in einer von 2 Gruppen können Entwicklungszustände unterdrückt oder durch Anpassung an neue Lebensweisen so stark abgeändert worden sein, daß sie nicht mehr erkennbar sind. Selbst in Gruppen, in denen die Erwachsenen im höchsten Grade verändert sind, können wir oft die gemeinsame Abstammung am Bau der Larven erkennen."[90] Während sich Darwin auf Abschnitte der Individualentwicklung bezieht, betrafen die klassischen „Vergleichenden Untersuchungen" W. Hofmeisters über „die Entwicklung höherer Cryptogamen und Gymnospermen" (1851) die Struktur ganzer Ontogenesen. Im Vergleich des Generationswechsels bei den Gefäßpflanzen (Kormophyten) wies er die weitgehende Homologie der Fortpflanzungsorgane und -vorgänge zwischen Moosen, Farnen und Samenpflanzen nach. Wie sich im Lichte der Deszendenztheorie ergab, belegte er damit die stammesgeschichtliche Verwandtschaft zwischen Moosen, Farnen und Samenpflanzen.

3. Im Evolutionsaspekt sind die Ontogenesen Resultat der Evolution und vollzieht sich die weitere Evolution der Organismen als evolutionäre Veränderung der Ontogenesen.

Der Charakter von Ontogenese und Individualentwicklung als evolutionäres Produkt, ihre Historizität, wird besonders deutlich durch Phänomene vor Augen geführt wie den Umstand, dass in der Embryonalentwicklung der (alle lungenatmenden) Säugetiere und Vögel in einem bestimmten Stadium Anlagen von Kiemenspalten und Arterienbögen wie beim Fischembryo auftreten. Auch die Ausbildung rudimentärer Organe und das gelegentliche Auftreten von Atavismen, z. B. von zwei oder drei Zehen am Fuß eines Pferdes, sind hier zu erwähnen. „Wie erklärt der moderne Biologe das Vorhandensein von Kiemenbögen in der Ontogenie der Säugetiere?" fragt Mayr und antwortet: „Wenn wir ehrlich sein wollen, so ist, solange die in Physiologie und Biochemie der Entwicklungssysteme nicht besser verstanden sind, nur eine vorläufige Antwort möglich. Es ist zum Beispiel denkbar, daß das genetische Programm für die Entwicklung aus einer Reihe derart komplexer Wechselwirkungen besteht, daß es sich nur sehr langsam verändern

90 Ch. Darwin, Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl, a. a. O., S. 497.

kann. Dies läßt sich besonders überzeugend für die rudimentären Organe demonstrieren, etwa für die Überreste der hinteren Extremitäten der Wale, deren Vorfahren vor rund 55 Millionen Jahren zu einem Leben im Wasser zurückkehrten. Darwins These, daß die evolutiven Neuerwerbungen der bestehenden genetischen Struktur übergestülpt werden, wird zwar häufig angegriffen, ist aber im Kern richtig."[91]

Sei die genetische Basis einer Struktur erst einmal fest in den Genotyp eingebaut und zum Bestandteil seiner gesamten genetischen Kohäsion geworden, so bestehe bei ihrem Abbau die Gefahr, dass dabei das gesamte Entwicklungssystem zerstört werde, vermutet Mary. Es sei weniger kostspielig, das komplexe Regulationssystem der Säugetierembryogenese intakt beizubehalten, auch wenn es (als Nebenprodukt) unnötige Kiemenbögen produziere, als es auseinanderzubrechen und unausgeglichene Genotypen hervorzubringen. Unser Verständnis der Regulierung der Entwicklung sei bei weitem zu unvollständig, als dass wir die Möglichkeit ausschließen könnten, späte evolutive Erwerbungen würden dem Genotypus „hinzugefügt" als die Merkmale, die er von den entfernteren Ahnen ererbt hat.

In diesem Zusammenhang ist auch angesichts der Atavismen an eine Erwägung Darwins zu erinnern, mit der er eine längere Erörterung dieser Erscheinung beschreibt: Außer den sichtbaren Veränderungen, denen der sich entwickelnde Keim unterliege, „müssen wir noch annehmen, daß noch unsichtbare Charaktere in ihm gehäuft sind, welche beiden Geschlechtern eigen, welche beiden Seiten, der rechten und linken des Körpers und einer langen Reihe männlicher und weiblicher Vorfahren eigen sind, die durch Hunderte und selbst Tausende von Generationen von der Jetztzeit getrennt waren; und diese Charaktere liegen alle, wie mit unsichtbarer Tinte auf Papier geschriebene Buchstaben da, bereit, sich unter gewissen bekannten oder unbekannten Bedingungen zu entwickeln."[92] Auf eine solche latente Kapazität des Genoms für Entwicklungsmuster und Formveränderungen aus der Vergangenheit verweisen nicht nur die hin und wieder natürlich vorkommenden Atavismen, sondern seit einiger Zeit auch experimentelle Befunde der Entwicklungsphysiologie.[93]

So entstehen bei der Zahnbildung der Zahnschmelz aus Epithelgewebe, aber Dentin und Knochen, die sich darunter befinden, aus Mesenchymgewebe. Das Mesenchym kann wohl Knochen, aber kein Dentin bilden, wenn es nicht in direkter Wechselwirkung mit dem Epithel steht, das dazu bestimmt ist, den Zahnschmelz zu bilden. E. J. Koller und C. Fischer konnten nachweisen, dass Epithelgewebe vom ersten und zweiten Kiemenbogen von Hühnerembryonen in Wechselwirkung mit Mesenchymgewebe von Mäuseembryonen aus der Region, in der sich später der erste Molar (Mahlzahn) bildet, zur Bildung kompletter Zähne führt (die sich von Mäuse-

91 E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, a. a. O., S. 380.
92 Ch. Darwin, Das Variieren der Thiere und Pflanzen im Zuchtsande der Domestication, Stuttgart 1873, Bd. II, S. 69 f.
93 Vgl. S. J. Gould, Hen's Teeth and Horse's Toes, a. a. O., S. 180 ff.

mahlzähnen morphologisch unterscheiden). Aber heutige Vögel haben bekanntlich keine Zähne und seit 60 Millionen Jahren sind keine bezahnten fossilen Vögel überliefert, während sehr frühe Vögel wie Archaeopteryx Zähne besaßen. Das Mesenchym der Hühnerembryonen hat wahrscheinlich die Fähigkeit verloren, Dentin zu bilden, nicht aber das Epithel die Fähigkeit, die Bildung von Dentin zu induzieren. Offenbar deshalb können Hühner keine Zähne haben, auch nicht als Atavismen.

„Entwicklungsmuster aus der Vergangenheit eines Organismus bestehen in latenter Form weiter. Kücken entwickeln nicht länger Zähne, weil ihr eigenes Mesenchym kein Dentin bildet, obwohl ihr Epithel noch Zahnschmelz produzieren und in anderen Tieren Dentin induzieren kann. Kücken entwickeln nicht länger getrennte Knöchelknochen, weil ihre Fibula während des Wachstums nicht länger mit der Tibia Schritt hält, aber die Knöchelknochen entwickeln sich und behalten ihre Identität, wenn die Fibulae dazu gebracht werden, die Länge zu erreichen, die sie bei den stammesgeschichtlichen Vorfahren hatte. Die Vergangenheit eines Organismus bedeutet nicht nur einschränkende Bedingungen für seine Zukunft; sie verschafft ihm als Vermächtnis auch ein enormes Reservoir an Potential für raschen morphologischen Wandel, der auf kleinen genetischen Änderungen beruht", resümiert Gould.[94]

Seit den Tagen Darwins und Haeckels sind die Beziehungen zwischen *Ontogenese und Phylogenese*, die Gesetzmäßigkeiten und Modi der Evolution der Ontogenese und die Möglichkeiten, mit dem Vergleich der Ontogenesen verschiedener Taxa zur Rekonstruktion der stammesgeschichtlichen Vergangenheit und der Vorfahren beizutragen, Gegenstand vielfältiger Konzeptionen und Kontroversen.[95] Mayr nennt das Gebiet einen „terminologischen und begriffsmäßigen Dschungel", in den Gould mit „Ontogeny and Phylogeny" (1977) etwas Licht und Ordnung gebracht habe.[96] Bezugsbasis des wissenschaftlichen Meinungsstreites ist immer noch weitgehend *Haeckels Rekapitulationshypothese*, ihre Interpretation, Abwandlung, Kritik und vor allem Überwindung durch faktenfundierte weiterführende Entwürfe.

Im „*biogenetischen Grundgesetz*" gab Haeckel seiner Hypothese konzentrierten Ausdruck. Ihr gemäß soll die Ontogenese wesentlich eine gedrängte und verkürzte Wiederholung der Stammesentwicklung sein, abgesehen von hinzugekommenen, die Wiederholung störenden Anpassungen in bestimmten Entwicklungsphasen. Evolvieren sollte die Ontogenese dadurch, dass in der adulten Phase der Individualentwicklung

94 Ebenda, S. 185 f.
95 Vgl. J. T. Bonner, Introduction, in: J. T. Bonner (ed.), Evolution and Development, a. a. O.; S. J. Gould, Ontogeny and Phylogeny, Cambridge/Mass. – London 1977; R. Löther, Das Werden des Lebendigen, Leipzig – Jena – Berlin 1983, S. 105 ff.; E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, a. a. O., S. 375 ff.; J. Nitschmann, Die Biogenetische Grundregel Haeckels aus heutiger Sicht, in: Biologische Rundschau, 6/1984, S. 341-351; G. Osche, Wie stehen wir heute zum Biogenetischen Grundgesetz von Haeckel?, in: B. Wilhelm (Hrsg.), Leben und Evolution, a. a. O.; D. Starck, Der heutige Stand des Fetalisationsproblems, Hamburg – Berlin (West) 1962.
96 Vgl. E. Mayr, Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt, a. a. O., S. 428.

neue Stadien auf die zusammengedrängte und mehr oder minder gestörte Rekapitulation aufgestockt werden. Die Rekapitulationshypothese hatte große heuristische Bedeutung für die historische Phylogenetik und die Erforschung der tatsächlichen Beziehungen zwischen Ontogenese und Phylogenese, wurde jedoch dabei entkräftet.

Ihr gegenüber hat *G. de Beer* folgende Gesichtspunkte zur *Evolution der Individualentwicklung* hervorgehoben:

1. *Qualitative evolutionäre Neuheiten* können auf allen Stufen der Individualentwicklung bis zur Erwachsenenphase auftreten und nicht nur in dieser.

2. *Zeit und Ordnung des Auftretens von Merkmalen* in der Individualentwicklung der Nachkommen verändern sich relativ zu den Verhältnissen bei den Vorfahren.

3. Neben der Einführung qualitativer Neuheiten in die Individualentwicklung spielen *quantitative Unterschiede der Merkmalsausbildung*, die aus der zeitlichen Veränderung ihres Auftretens (Heterochronie) resultieren, in der Phylogenese eine Rolle.

4. Die verschiedenen Merkmale eines Organismus evolvieren nicht notwendig alle auf die gleiche Weise (*Mosaikmodus der Merkmalsevolution*).[97]

Neben und in Verbindung mit dem Entstehen qualitativer Neuheiten wurde die *zeitliche Struktur der Individualentwicklung*, die zeitlichen Relationen ihrer Teilprozesse und ihre Veränderung, zum entscheidenden Gesichtspunkt für die Evolution der Ontogenese. Dabei ergab sich, dass sowohl die relative Beschleunigung (Akzeleration) als auch die relative Verzögerung (Retardation) der Entwicklung von Organen und anderen Komponenten des Organismus gegenüber anderen Organen und Komponenten eine Reihe von Weisen evolutionärer Veränderung der Individualentwicklung und Beziehungen zwischen Ontogenese und Phylogenese hervorbringen. Die Rekapitulation von Merkmalen des Erwachsenenstadiums phylogenetischer Ahnen in vorangehenden Phasen der Individualentwicklung der Nachkommen wird dabei keineswegs in Abrede gestellt. Nur kommen diese Erscheinungen anders zustande, als es sich die Vertreter der Rekapitulationshypothese vorstellten. Und sie verkörpern nicht im Sinne des „biogenetischen Grundgesetzes" das Wesen der Beziehungen zwischen Ontogenese und Phylogenese.

Die Rekapitulation ancestraler Erwachsenenmerkmale in vorangehenden Entwicklungsstadien von Nachkommen kann Ergebnis zweier verschiedener Prozesse, Ausdruck einer von zwei verschiedenen Möglichkeiten evolutiven Wandels der Individualentwicklung sein. Die *Rekapitulationen* bilden also einen heterogenen Komplex von Erscheinungen, zu denen ein zweiter nicht minder heterogener Komplex von Erscheinungen kommt, die *Pädomorphose*, d. h. das Erhaltenbleiben von Merkmalen von Jugendstadien der Vorfahren in späteren Stadien der Nachkommen. Generell ergeben sich, wie Gould gezeigt hat, folgende Möglichkeiten: Retardation kann zur Pädomorphose führen durch Neotenie, d. h. durch an Stärke abnehmendes Langsamwerden der somatischen Entwicklung, oder zur Rekapitulation durch Hypermorphose, d. h. durch

97 Vgl. G. de Beer, Embryos and Ancestors, 3. Aufl., Oxford 1958.

das Hinauszögern der Geschlechtsreife. Auch Akzeleration kann zur Pädomorphose führen, wenn sie das Eintreten der Geschlechtsreife beschleunigt (Progenese) oder zur Rekapitulation, wenn sie die somatische Entwicklung beschleunigt (Akzeleration im engeren Sinne).

Es geht also *nicht* mehr wie bei der Rekapitulationshypothese um einen *Modus der Evolution der Ontogenese*, *sondern* um eine *Reihe von Tendenz und Resultat gegensätzlichen Möglichkeiten*. Dabei werden Rekapitulation und Pädomorphose nicht mehr nur in den Dimensionen der Makroevolution betrachtet – im einzelnen, um Evolutionslinien zu rekonstruieren, und allgemein die Rekapitulation als Erscheinung, die mit evolutionären Voranschreiten durch das Hinzufügen neuer Entwicklungsschritte verbunden ist –, und die Pädomorphose als Weg aus den Sackgassen der Spezialisierung auf neue evolutionäre Möglichkeitsfelder. Darüber hinaus richtet sich die Aufmerksamkeit auf die unmittelbare Bedeutung von Akzeleration und Retardation der Individualentwicklung als Ergebnisse natürlicher Auslese unter verschiedenartigen ökologischen Bedingungen.

5. Die Entstehung von Neuem und Höherem in der Evolution

Die Evolution des Lebenden, die seit mehreren Milliarden Jahren auf der Erde im Gange ist, hat die gradweise abgestufte Mannigfaltigkeit der Lebewesen, die Artenvielfalt von prokaryotischen und eukaryotischen Organismen, von Archäbakterien und Eubakterien, ein- und vielzelligen Pflanzen, Pilzen und Tieren und in der Evolution des Tierreiches auch den Menschen hervorgebracht. In Ökosystemen sind die verschiedenartigen Lebewesen miteinander und mit ihrer nichtlebenden Umwelt in der Biosphäre verbunden. Die Entwicklungsgeschichte des Lebenden umfasst die Lebewesen, ihre inner- und zwischenartlichen Beziehungen sowie ihre Beziehungen zur nichtlebenden Umwelt bis hin zum Gesamtsystem der *Biosphäre*. Sie ist durch *zunehmende Mannigfaltigkeit* und das *Entstehen neuer Evolutionsmöglichkeiten* auf der Grundlage der auf vielen Wegen stattfindenden *Entwicklung vom Einfacheren zum Komplizierteren* charakterisiert.

In diesem sich entwickelnden Beziehungsgefüge fand die Evolutionsgeschichte der Lebewesen, ihre Phylogenese, im Werden und Vergehen der Arten und Artengruppen statt. Sie vollzog sich in der Aufeinanderfolge der Arten, der elementaren Einheiten der Phylogenese. Das Begreifen der Evolution auf dem Populations- und Artniveau, dem primären Geschehensfeld der Evolution, wurde von *Darwin* in seiner Variabilität-Selektionstheorie begründet. Mit ihr begann das *Verständnis der biotischen Evolution* als *durch innere Widersprüche vorangetriebene Selbstbewegung der lebenden Materie*. Das Darwinsche *Gesetz der natürlichen Auslese* im Ringen der Organismen um ihre Existenz ist das grundlegende Bewegungsgesetz dieses Geschehens und besitzt den Charakter eines ihm innewohnenden Widerspruchs. Seine beiden einander entgegenwirkende und sich zugleich bedingende Seiten sind

– die *ziellos zufällige*, nicht auf Anpassung gerichtete *erbliche Variabilität* der organismischen Individuen und
– die *natürliche Auslese* im Ringen der Lebewesen um die Existenz, durch die Erbänderungen ausgewählt und in der Generationenfolge akkumuliert und kombiniert werden.

Durch die natürliche Auslese wird die ungerichtete Variabilität in einen gerichteten Prozess umgesetzt, aus dem zweckmäßig angepasste Lebewesen hervorgehen. Wie Darwin schrieb, „muß jedes Wesen, das irgendwie vorteilhaft von den anderen abweicht, unter denselben komplizierten und oft seht wechselnden Lebensbedingungen bessere Aussicht für das Fortbestehen haben und also von der *Natur zur Zucht* ausgewählt werden."[98] Unter den zahlreichen Momenten der *Widerspiegelung objektiver Naturdialektik* bei Darwin ist dieses das entscheidende.

Die *Synthetische Theorie der Evolution* hat es in ihrer Mutation-Selektions-Konzeption aufbewahrt. In die darauf basierende Erklärung der Evolution auf dem Populations- und Artniveau hat sie Faktoren wie Rekombination und Isolation sowie im Hinblick auf das Wirken der natürlichen Auslese zufällig den Genbestand der Populationen und Arten beeinflussende Prozesse wie Populationsschwankungen und genetische Drift einbezogen. Seit dem Ende der 60er Jahre werden in der vieldiskutierten *Neutralitätstheorie der molekularen Evolution* solchen das Konzept der genetischen Drift erweiternden Zufallsprozessen als „selektionsneutraler" oder „nichtdarwinscher" Evolution auf dem molekularen Organisationsniveau der Organismen (DNA, Proteine) große Bedeutung beigemessen.[99]

Diese Konzeption bezieht sich auf mit molekularbiologischen Techniken erfasste Molekülvarianten von zuvor ungeahntem Ausmaß. Für sie wird vorausgesetzt, dass sie sich nicht in Eigenschaften auf dem Organisationsniveau des Gesamtorganismus manifestieren, an dem die Darwinsche „Milieuselektion" ansetzt. Sobald sich Molekülvarianten dort auswirken, geraten sie in die Wirkungssphäre der natürlichen Auslese, die die selektionsneutralen Zufallsprozesse begrenzt. So geht es bei der Diskussion zwischen „Neutralisten" und „Selektionisten" nicht um einander prinzipiell ausschließende, miteinander konkurrierende Theorien, sondern um die Bestimmung der Gültigkeitsbereiche von *Neutralitätstheorie* und *Selektionstheorie*. Wobei die Neutralitätstheorie die Selektionstheorie hinsichtlich der Erklärung bestimmter Erscheinungen auf der molekularen Ebene im Rahmen der Gesamttheorie der Evolution ergänzt.

98 Ch. Darwin, Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl, a. a. O., S. 17 f.
99 Vgl. M. Kimura, Die „neutrale" Theorie der molekularen Evolution, in: Evolution. Die Entwicklung von den ersten Lebensspuren bis zum Menschen, Heidelberg 1982; M. Kimura, Die Neutralitätstheorie der molekularen Evolution, Berlin (West) – Hamburg 1987; E. Lange, „Nicht-Darwinsche Evolution" – noch umstritten, in: Wissenschaft und Fortschritt 10/1980; E. Mayr, Natürliche Auslese, in: Die Naturwissenschaften 5/1985, S. 231-238; G. L. Stebbins/F. J. Ayala. Die Evolution des Darwinismus, a. a. O.

Weiter wurde, über die „vertikale“ Transmission der genetischen Information in der Generationenfolge hinausgehend, eine „horizontale“ Verbreitung genetischer Information durch „springende Gene“ ermittelt, transponible DNA-Elemente, die zu Umbauten im Genom führen und zwischen Arten übertragen werden.[100] Diese Erscheinung und ihr Beitrag zur Entstehung genetischer Variabilität sind insgesamt noch zu wenig aufgeklärt, um bereits fundierte evolutionstheoretische Verallgemeinerungen zu erlauben. Sehr weitgehende Vorstellungen über ihre Funktion als „horizontale Triebkraft der Evolution“ sind auf heftige Kritik gestoßen.[101] Gesichert ist, dass die Übertragung genetischer Information durch Plasmide, ringförmige Gebilde und doppelsträngiger DNA, bei Bakterien eine große Rolle spielt, z. B. für die Virulenz krankheitserregender Bakterien und ihre Resistenz gegen Arzneimittel.[102] Die Erforschung der Phänomene horizontaler Transmission genetischer Information besitzt großes praktisches Interesse, das von Beiträgen zur Lösung des Krebsproblems bis zur Entwicklung genetischer Manipulationstechniken für die Biotechnologie reicht.

Konventionell wird der Begriff „*Evolutionsfaktor*“ als Oberbegriff für Mutation, Selektion, Rekombination, Isolation, Populationsschwankungen und genetische Drift verwendet, ohne weiter darüber zu reflektieren. Nicht zuletzt selektionsneutrale genetische Variabilität und springende Gene geben Grund, nicht nur den Kanon der Evolutionsfaktoren in den Lehrbüchern zu erweitern, sondern das Konzept der Evolutionsfaktoren generell theoretisch zu präzisieren. Richtungsweisend dafür können Erörterungen K. M. Žavadskijs und E. L. Kolčinskijs sein.[103] Danach lässt sich im Grunde genommen jeder Ausschnitt, jede Seite, jeder Bestandteil des evolvierenden Lebenden sowie der Bedingungen und der bewegenden Kräfte der Evolution, der zum Zwecke gesonderter Untersuchung hervorgehoben werden kann, als ein Faktor der Evolution auffassen. Das kann jeder relativ diskrete Prozess und jedes relativ diskrete Merkmal der Organisation des Lebenden sein, die als Teil des evolvierenden Substrats, als Ursachen oder Bedingungen an den Wechselwirkungen beteiligt sind, die zur ununterbrochenen adaptiven Umbildung der Populationen führen.

100 Vgl. E. Geißler, Novable DNA elements and evolution, in: E. Geißler/W. Scheler (Hrsg.), Darwin today, Berlin 1983; G. P. Georgijew, Bewegliche Gene bei Tieren, in: Wissenschaft und Menschheit 1985, Moskau – Leipzig – Jena – Berlin 1985; R. Hagemann, Springende Gene bei höheren Organismen, in: Wissenschaft und Fortschritt, 1/1984, S. 2-4; G. L. Stebbins/F. J. Ayala, Die Evolution des Darwinismus, a. a. O.; U. Wobus, Springende DNA-Elemente in Eukaryoten, Berlin 1986.
101 Vgl. W. A. Kordjum, Evoljucija i biosfera, Kiev 1982; D. K. Beljaev/M. S. Giljarov/L. P. Tatarinov, Po povodu knigi W. A. Kordjuma „Evoljucija i biosfera“, in: Priroda, 1/1985, S. 120.
102 Vgl. L. Britz, Gedanken über die mögliche Bedeutung von Arthropoden für die Zirkulation und Verbreitung der Plasmide, in: Angewandte Parasitologie, 3/1984, S. 141-147; H. Tschäpe, Plasmide, Berlin 1987.
103 Vgl. K. M. Žavadskij/E. I. Kolčinskij, Evoljucija evoljucii, Leningrad 1977.

Die Gesamtheit der Evolutionsfaktoren lässt sich mit I. I. Smal'gauzen in zwei Gruppen zusammenfassen.[104] Auf der einen Seite stehen die Faktoren, die das *Substrat der Evolution* – das, was evolviert – *bereitstellen und organisieren*: Mutabilität, Sexualität, individuelle Variabilität, Integration und Isolation der Fortpflanzungsgemeinschaften usw. Hierher gehören auch die horizontale Transmission genetischer Information und die Variabilität auf der molekularen Ebene, auf die sich die Neutralitätstheorie der molekularen Evolution bezieht. Auf der anderen Seite stehen als Gegenspieler jene Faktoren, die als *bewegende Kräfte*, als *Ursachen der Evolution* wirken: das Ringen um die Existenz und die natürliche Auslese. In den Beziehungen zwischen diesen beiden Faktorengruppen tritt der *dialektisch-widersprüchliche Charakter der Evolution* zutage.

Das *Ringen um die Existenz*, Darwins „struggle for life" oder „struggle for existence", gewöhnlich und nicht selten mit entstellenden Auslegungen verbunden als „Kampf ums Dasein" übersetzt, pflegt in modernen evolutionstheoretischen Texten nicht mehr als Evolutionsfaktor aufgeführt zu werden.

Smal'gauzen, Mitschöpfer der Synthetischen Theorie der Evolution, bildet da eine rühmliche Ausnahme. Als Inbegriff der verschiedenen Zusammenhänge der Organismen mit ihrer biotischen und abiotischen Umwelt, in denen die natürliche Auslese stattfindet, und vor allem als Ausdruck dessen, dass die *Lebewesen* dabei den Einflüssen der Umwelt nicht passiv erleidend ausgesetzt sind, sondern *aktiv agierend und reagierend*, dürfte er nicht gegenstandslos und ersatzlos streichbar geworden sein.[105] Zumal er auch die begriffliche Brücke von der biologischen Evolutionstheorie zur *Ökologie als biologische Teilwissenschaft* bildet, wie sie Haeckel begründete.[106] Aus zoologischer Sicht, die unschwer für alle Organismen zu erweitern ist, erläuterte Haeckel: „Unter Ökologie verstehen wir die Lehre von der Ökonomie, dem Haushalt der tierischen Organismen. Diese hat die gesamten Beziehungen des Tieres sowohl zu seiner anorganischen als zu seiner organischen Umgebung zu untersuchen, vor allem die freundlichen und feindlichen Beziehungen zu denjenigen Tieren und Pflanzen, mit denen es in direkte oder indirekte Berührung kommt; oder mit einem Worte alle diejenigen verwickelten Wechselbeziehungen, welche Darwin als die Bedingungen des Kampfes ums Dasein bezeichnet."[107]

Im Ringen um die Existenz vollzieht sich die *natürliche Auslese* – ein Vorgang, der aus der Wechselwirkung vieler Faktoren der Evolution resultiert und ihre wesent-

104 Vgl. I. I. Smal'gauzen, Problemy Darvinisma, Moskva 1946.
105 Vgl. R. Löther, Probleme des Darwinismus in Engels' „Dialektik der Natur", in: M. Buhr/H. Hörz (Hrsg.), Naturdialektik – Naturwissenschaft, Berlin 1986, S. 215 ff.
106 Vgl. H. J. Müller, Die Begründung der Ökologie als Lehre vom Haushalt der Natur durch Ernst Haeckel, in: Biologische Rundschau, 6/1985, S. 337-343; H. Paucke/H. Stubbe, Zur Geschichte, Stellung und Ausrichtung der Ökologie, in: Hercynia, 4/1986, S. 409-417.
107 E Haeckel, Über Entwicklungsgang und Aufgabe der Zoologie (1869), in: E. Haeckel, Gemeinverständliche Vorträge und Abhandlungen aus dem Gebiete der Entwicklungslehre, 2. Auf., Bd. 2, Bonn 1902, S. 20.

liche bewegende und richtunggebende Kraft ist. Deshalb kann sie auch keinem der übrigen mehr oder weniger distinkten Evolutionsfaktoren als einer unter anderen gleichgesetzt werden. Grundlegend für ihr Verständnis ist, „daß sie sich nicht in der Begünstigung oder Eliminierung von Individuen erschöpft, sondern sich *mittels* ihres primären Effektes auf die Reproduktionschancen von Individuen in der Erhaltung und Förderung von integrierten Fortpflanzungsgemeinschaften (Arten) realisiert. Die Modi der Selektion (stabilisierende, gerichtete, disruptive usw.) beziehen sich immer auf Populationen, nicht auf Individuen."[108]

In neueren Untersuchungen und Diskussionen zeichnet sich ab, dass die Darwinsche Erkenntnis der Selektion durch Umweltbedingungen erweiterungsbedürftig ist: Auslesevorgänge, die die Überlebens- und Fortpflanzungswahrscheinlichkeit der Individuen beeinflussen, finden auch sowohl auf den verschiedenen innerorganismischen Organisationsniveaus wie auf überorganismischen Organisationsniveaus des Lebenden statt.[109] Beispiele für letzteres sind die Kin-(Verwandten-)Selektion und die Gruppenselektion der Soziobiologen und die Artenselektion der Punktualisten. Was ausgelassen wird, sind aber immer Individuen in Populationen.

Ein weiterer Gesichtspunkt zum Konzept der Evolutionsfaktoren ist der der „*Evolution der Evolution*", d. h. dass die Faktoren und der Mechanismus der Evolution nicht für alle Zeiten und Organismengruppen gleich ist, sondern selbst der Evolution unterliegt. „Die Gesetzmäßigkeiten der Tiere und Pflanzen auf einer bestimmten Stufe der Evolution sind einerseits das Ergebnis der geschichtlichen Entwicklung und bestimmen andererseits selbst den weiteren Gang der Evolution. Die Gesetzmäßigkeiten der Vererbung der Variabilität, der natürlichen Auslese sind spezifisch für jedes Stadium der Evolution. Es handelt sich darum, nicht nur die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten des Evolutionsprozesses, sondern auch seine spezifischen Eigenschaften in den verschiedenen Stadien zu klären. Die Berechtigung dieses Standpunktes wird uns besonders deutlich vor Augen geführt, wenn wir uns einerseits eines der frühen Zeitalter in der Entwicklung der organischen Welt vorstellen und andererseits bedenken, wie Tier- und Pflanzenwelt durch die Tätigkeit des Menschen auf verschiedenen Stufen der sozialen Entwicklung verändert werden", vermerkte B. P. Tokin und ge-

108 Vgl. G. Peters, Stammesgeschichte und Evolution der Organismen – neuere theoretische Aspekte, in: Erkenntnis der Natur und wissenschaftlichen Weltanschauung, hg. vom Präsidium der URANIA, a. a. O., S. 112.

109 Vgl. G. Peters, Stammesgeschichte und Evolution der Organismen – neuere theoretische Aspekte, in: Erkenntnis der Natur und wissenschaftlichen Weltanschauung, hg. vom Präsidium der URANIA, a. a. O.; J. P. Regelmann, Interne Aspekte der Selektion als darwinistische Perspektive, in: Organismus und Selektion – Probleme der Evolutionsbiologie, Frankfurt/M. 1985; H. U. Reyer, Soziale Strategien und ihre Evolution, in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 1/1982, S. 6-17; L. L. Whyte, Internal Factors in Evolution, London 1965; F. M. Wuketits, Zum Konzept der „inneren" Selektion; Stellungnahme zu einer evolutionstheoretischen Kontroverse, in: Paläontologische Zeitschrift, 1-2/1985, S. 35-41.

langte zu dem Schluss, dass es erforderlich sei, „den historischen Gesichtspunkt auf den Evolutionsprozeß selbst konsequent anzuwenden und solche Begriffe wie z. B. Vererbung und Variabilität ebenfalls als geschichtliche Kategorien aufzufassen".[110]

Solches *historische Herangehen an die Evolutionsfaktoren* und ihr Beziehungsgefüge schließt, wie Žavadskij und Kolčinski gezeigt haben, ein, zwischen *allgemeinen* und *besonderen Faktoren der Evolution* zu unterscheiden und zu berücksichtigen, dass sich sowohl allgemeine als auch besondere Faktoren im Verlaufe der Evolution auf verschiedene Weise quantitativ und qualitativ verändern können sowie neue Faktoren entstehen und alte verschwinden können. Zu den allgemeinen, d. h. überall und jederzeit die Evolution bedingenden und bestimmenden Faktoren gehören u. a. die Reproduktion des Lebenden, die Mutabilität, das Ringen um die Existenz und die natürliche Auslese. Beispiele besonderer, auf die Evolution bestimmter großer Artengruppen beschränkter Evolutionsfaktoren sind u. a. die verschiedenen geschlechtlichen und ungeschlechtlichen Fortpflanzungsweisen, die Symbiose der Flechten oder das Verhalten als „Schrittmacher der Evolution" (Verhaltensänderungen gehen der morphophysiologischen Veränderung voraus) in der Evolution der Tiere. Ferner ergeben sich sowohl bei den allgemeinen als auch bei den besonderen Evolutionsfaktoren Unterschiede zwischen den hauptsächlichen (wesentlichen bzw. notwendigen und hinreichenden) Faktoren, die die Evolution bedingen und bestimmen (z. B. Mutabilität und natürliche Auslese), und zusätzlichen Faktoren, die die Evolution in unterschiedlicher Weise beeinflussen, z. B. die Geschwindigkeit der Generationenfolge, Populationsgrößen und -schwankungen, Schwankungen der Umweltbedingungen u. a.

Aus solcher differenzierender Betrachtung der Evolutionsfaktoren leiten die Autoren ab, dass die Theorie der Evolutionsfaktoren, die bislang auf mehr oder weniger universelle Faktoren konzentriert war, in zweifacher Hinsicht zu ergänzen und weiterzuentwickeln ist. Zum einen ist sie dadurch zu konkretisieren, dass Besonderheiten der Evolutionsfaktoren und -mechanismen bei den verschiedenen großen Organismengruppen wie Prokaryoten, Protozoen oder Pflanzen untersucht werden. (Eine in diese Richtung gehende anregende Studie über Unterschiede in der Evolution von Pflanzen und Tieren hat C. G.G. J. van Steenis vorgelegt.)[111] Zum anderen ist sie dadurch auszubauen, dass die historischen Veränderungen der universellen Faktoren und das Werden und Vergehen besonderer Evolutionsfaktoren in der stammesgeschichtlichen Entwicklung erforscht werden. Von der Lösung dieser Aufgaben erwarten die Autoren nicht nur, dass die Vergangenheit besser erklärt werden kann, sondern auch die Prognose zukünftiger Evolution, um die Probleme der Wechselwirkung zwischen menschlicher Gesellschaft und lebender Natur in der Biosphäre besser lösen zu können.

110 B. P. Tokin, Vorwort, in: Probleme der Theoretischen Biologie, Moskva – Leningrad 1935, S. 7-9.

111 C. G. G. J. van Steenis, Autonomous Evolution in Plants, in: Garden's Billetin XXI, Singapore 1976.

Bedingt und bestimmt durch jeweils naturhistorisch-konkrete Beziehungsgefüge von Evolutionsfaktoren entstehen neue Organismenformen. Das geschieht sowohl durch Vorgänge der *Segregatiogenese*, der Entstehung von getrennten Arten und Artengruppen, als durch Vorgänge der *Symgenese*, der Entstehung von Arten und Artengruppen auf Grund der Vereinigung von organismischen Strukturen und Funktionen distinktiver Arten und Artengruppen.[112]

Die *Segregatiogenese* vollzieht sich auf sich verzweigenden Wegen auf Grund der *Artspaltung* (*Speziation*), die mit dem Besetzen ökologischer Nischen verbunden ist. Sie geht mit phänetischen Veränderungen der Organismen, ihrer ethologischen, physiologischen, morphologischen, biochemischen u. a. Merkmale einher. Die *Verzweigung der Evolutionswege* (*Kladogenese*) und die *phänetische Evolution* sind zwei Seiten der einen Organismenevolution. Auf Wegen der Kladogenese zeichnen sich neben und kombiniert mit der phänetischen Evolution der organismischen Individuen zwei Prozesse der Verbindung von Individuen innerhalb von Arten zu Gebilden höherer Ordnung ab: *Kolonisation und Soziogenese*.[113]

Die *Kolonisation* kann stammesgeschichtlich zur Integration von Individuen derselben Art bis hin zu Gebilden wie den Staatsquallen führen, bei denen die Individuen eines Tierstockes zu Organen eines Gesamtorganismus geworden sind. Verschiedene Hypothesen versuchen, die stammesgeschichtliche Entstehung der vielzelligen Lebewesen aus Einzeller-Kolonien zu erklären. Die Kolonisation tendiert zur Herausbildung von Biosystemen, deren Untereinheiten fest miteinander verbunden sind. Die Existenz und Funktion jeder Untereinheit ist eine notwendige Bedingung für das Funktionieren des ganzen Systems.

Bei der *Soziogenese* hingegen bilden sich Systeme heraus, die aus frei beweglichen Untereinheiten bestehen. Diese können einander mehr oder weniger ersetzen. Im Ergebnis der Soziogeneseprozesse bilden einzeln (solitär) lebende Tiere und Tiere, die ihr Leben in strukturierten Verbänden von Artgenossen verbringen, eng sozial leben, Anfänge und Enden von Evolutionslinien mit sehr vielem, was dazwischen liegt, d. h. mit mehr oder minder ausgeprägten Formen von Geselligkeit und Sozialverhalten.

Bekannte Formen der Symgenese, die zur Entstehung von Arten und Artengruppen führen, sind die *Synthesogenese von Arten* und die *Symbiogenese.* N. P. Dubinin zählt auch die horizontale Übertragung transponibler DNA-Elemente zu den Faktoren der Symgenese.[114] Synthesogenetische Arten entstehen auf Grund der Vereinigung und Vervielfachung von Chromosomensätzen verschiedener Arten (Allopolyploidie) in Artbastarden (die zugleich auch Gattungsbastarde sein können). Die Symbiogenese

112 Vgl. N. N. Voroncov, Teorija evoljucii: istoki, postulaty i problemy, a. a. O.
113 Vgl. S. J. Gould, The Flamingos Smile, New York - London 1985, S. 78 ff.; R. Löther (Hrsg.), Tiersozietäten und Menschengesellschaften, Jena 1988; G. Harig/J. Schleifstein (Hrsg.), Naturwissenschaft und Philosophie, Berlin 1960, S. 357-362.
114 Vgl. N. P. Dubinin, Obščaja genetika, 3. Aufl., Moskva 1986, S. 394 f.

resultiert aus dem symbiotischen Zusammenleben von Organismen und führt stammesgeschichtlich zur Vereinigung von Individuen verschiedenster Arten und Reiche auf Grund sich ergänzender Stoffwechselleistungen. Sie hat zu Gebilden wie den Flechten (Lichenes) geführt, bei denen Pilze und Algen zu morphophysiologischen Einheiten geworden sind, die als eigenes Taxon gelten. In einer Symbiogenese von Prokaryoten wird in der Endosymbiontenhypothese die Lösung eines Problems gesehen, das an Bedeutung der Frage nach der Entstehung des Leben kaum nachsteht, des Problems der Entstehung eukaryotischer aus prokaryotischen Einzellern bzw. der Eucyten aus Procyten.[115]

Mit der Entstehung neuer Organismenformen auf miteinander verknüpften segregatiogenetischen und symgenetischen Wegen ist die Problematik der *Entwicklung vom Niederen zum Höheren*, der *Höherentwicklung in der Stammesgeschichte der Organismen* verbunden. In der evolutionstheoretischen Literatur begegnet man dazu einer Fülle einander widersprechender Auskünfte. Sie beginnen bei der Frage, ob den Begriffen des Niederen und des Höheren ein objektiver Inhalt zukommt oder ob mit ihnen die Selbstapologetik eines Wesens in das Naturgeschehen projiziert wird, dass – wenn es schon nicht Krone der Schöpfung ist – sich wenigstens als Krone der Evolution sehen möchte. Auf das eine wie auf das andere kann G. Ch. Lichtenbergs Aphorismus bezogen werden: „Daß der Mensch das edelste Geschöpf sei, läßt sich auch schon daraus abnehmen, daß ihm noch kein anderes Geschöpf widersprochen hat."[116]

Wird Höherentwicklung als objektiver Tatbestand anerkannt, bekommt man differenzierende Auskünfte, wie sie zu definieren, an welchen Kriterien sie zu messen sei, und damit auch, was darunter fällt. Dazu kommt eine verwirrende Vielfalt mehr oder weniger synonym gebrauchter Termini für Höherentwicklung – Anagenese, Aromorphose, Arogenese, progressive Evolution, Evolutionsprogreß, Fortschritt, Vervollkommnung usw. –, die zum Teil von anderen Autoren mit anderen Bedeutungen belegt werden. Umgeben ist das Ganze mit einem Nebel von Missverständnissen. Angesichts des verwickelten Komplexes können hier nur einige Anregungen zum Durchdenken der Problematik gegeben werden.

Im Vergleich der Merkmale von Organismen, die am Anfang und am Ende von Evolutionslinien und evolutionären Trends stehen, zeichnen sich evolutive Veränderungsrichtungen der Phänotypen ab. Sie sind mit dem vergleichbar, was auf anderen Wegen phänetischer Evolution geschah. Dabei dürfte es in diesem Zusammenhang gleichgültig sein, ob die Trends gemäß einem gradualistischen oder einem punktualistischen Evolutionsmodell interpretiert werden. Beim Vergleichen ergeben sich Gemeinsamkeiten und Unterschiede, die sich verallgemeinern lassen. Es lassen sich

115 Vgl. R. Hagemann (Hrsg.), Leopoldina-Diskussionskreis „Evolution der eukaryotischen Zelle", in: Nova Acta Leopoldina, Neue Folge/Nr. 251, Bd. 56, 1982; L. Margulis, Symbiosis in Cell Evolution, San Francisco 1981.
116 G. Ch. Lichtenberg, Aphorismen – Essays – Briefe, Leipzig 1963, S. 61.

Typen solchen Geschehens als ideelle Modelle entwerfen, (logische) Klassen bilden und allgemeine Begriffe einführen, mit denen die Einzelvorgänge charakterisierbar sind. Entwicklung vom Niederen zum Höheren, Höherentwicklung mitsamt allen Synonymen ist ein solcher Begriff. Nicht alles, was geschehen ist, lässt sich auf diesen Begriff bringen; auch andere Richtungen zeichnen sich ab.[117] Verschiedene Konzeptionen, z. B. die von A. N. Severcov, weitergeführt von Smal'gauzen, Žavadskij u.a.[118] oder die von J. Huxley, weitergeführt u. a. von V. Grant[119] sind Ausdruck des Bemühens um ein differenziertes Erfassen der Phänomene.

Das Reden von „höheren" und „niederen" wie auch von mehr oder weniger „vollkommenen" Lebewesen entstammt der Terminologie der *Stufenleiterkonzeption*, ist älter als die biologische Evolutionstheorie und war ursprünglich auch mit sonst keiner Form von Entwicklungsdenken verbunden. Das bis in die Antike zurückverfolgbare und in der Naturgeschichte der drei Reiche im 18. Jahrhundert verbreitete Denkschema der Stufenleiter stellt ein *zeitloses Ordnungsmuster des Seins vor*, das *zugleich eine Wertungshierarchie* bedeutete. Es basierte auf den Grundsätzen der Vollständigkeit, der qualitativen Kontinuität und der abgestuften Vollkommenheit.[120] In einer Version Ch. Bonnets beispielsweise beginnt die Stufenleiter mit dem „Äther" und steigt allmählich in linearer Folge über „Steinpflanzen", Korallen und Trüffeln von den Mineralien zu den Pflanzen, von diesen über Seerosen und Polypen zu den Würmern und Schaltieren, von den Schnecken zu den Schlangen, von diesen über die Aale zu den Fischen, über die fliegenden Fische zu den Vögeln, über die Fledermäuse zu den vierfüßigen Tieren, über die Affen zum Menschen als dem höchsten der irdischen Geschöpfe und über die himmlischen Heerscharen hinweg schließlich zu Gott, in dem sie endet. „Höher" und „nieder" beziehen sich hier auf den Platz auf der Stufenleiter, sind das auf ihr Höher- oder Niedrigerstehende, sind identisch mit Graden der Vollkommenheit und zugleich auch mit mehr oder weniger wertvoll. Der oberste Bezugspunkt für all das war Gott, an den als an das höchste und vollkommenste aller Wesen geglaubt wurde. Doch faktisch war die Stufenleiter, soweit sie die drei Naturreiche betraf, vom Menschen her abwärts nach Ähnlichkeiten konstruiert und nur ausführbar, weil vor allem noch nicht zwischen homologer und analoger Ähnlichkeit unterschieden wurde.

117 Vgl. Regressive Evolution und Phylogenese, Hamburg – Berlin (West) 1983.
118 Vgl. A. N. Sewertzoff, Morphologische Gesetzmäßigkeiten der Evolution, Jena 1931; I. I. Smal'gauzen, Problemy darvinizma, a. a. O.; K. M. Žavadskij (orv. red.), Zakonomernosti progressivnoi evoljucii, Leningrad 1972.
119 Vgl. V. Grant, The Evolutionary Process, New York 1985, S. 372 ff.; J. Huxley, Progress, Biological and Other, in: J. Huxley, Essays of a Biologist, London 1923; J. Huxley, Entfaltung des Lebens, Frankfurt/M. – Hamburg 1954, S. 63 ff.
120 Vgl. A. O. Lovejoy: The Great Chain of Being, Cambridge (Mass.) 1936; G. Uschmann, Der morphobiologische Vervollkommnungsbegriff bei Goethe und seine problemgeschichtlichen Zusammenhänge, Jena 1939; M. Weingarten, Kontinuität und Stufenleitern der Natur, in: Materialistische Wissenschaftsgeschichte, Berlin (West) 1981, S. 87-108.

Die Stufenleiterkonzeption wurde von verschiedenen Seiten her zu Fall gebracht:

1. *Natürliche Systematik und Morphologie* widersprachen der Auffassung des Seins als lineare und kontinuierliche Stufenleiter, indem sie die Existenz diskontinuierlicher Klassen von Dingen anerkannten. Sie bildeten das Tier- und das Pflanzenreich in einem hierarchischen Klassifikationssystem sub- und koordinierter Taxa ab.

2. Schwierigkeiten, die Dinge linear anzuordnen, führten im Rahmen der Stufenleiterkonzeption zum *Zweifel an der Linearität der Stufenfolge.* So entwarf P. S. Pallas vor allem auf Grund morphologischer Gesichtspunkte eine sich verzweigende Stufenleiter. Er verglich sie mit einem Baum, der gleich von der Wurzel an einen doppelten Stamm besitzt, nämlich einen tierlichen und einen pflanzlichen, sich anfangs noch berührend.

3. Schwierigkeiten, die Vollständigkeit der Stufenleiter zu belegen („*missing links*"), führten u. a. zu dem Gedanken, die fehlenden Zwischenglieder könnten in der Vergangenheit existiert haben oder erst zukünftig entstehen. Bei den Lebewesen sollten „rudimentäre" Organe solches Entstehen bezeugen (lat. rudimentum – erster Versuch, erste Probe). Bekanntlich bedeutet der Terminus heute das Gegenteil. Dergleichen Überlegungen führten zur „Verzeitlichung" der Stufenleiter, zu ihrer *Umdeutung in einen zeitlichen Ablauf.* Dies war eine wichtige Quelle für den Entwicklungsgedanken in der Naturphilosophie der Aufklärung und Romantik.

Aus der „Verzeitlichung" der Stufenleiter folgte, dass sich „höher" und „nieder" ebenso wie „vollkommen" nun auf *Entwicklungsstufen im Prozess eines linearen Fortschritts* vom Niederen zum Höheren bezogen. Bei Lamarck verband sich dies mit der Absage auch an die Linearität der Stufenleiter. Seine Konzeption beinhaltet, dass die Entwicklung die Stufenleiter aufwärts durch ein von Gott in die Materie gelegtes Vervollkommnungsstreben bestimmt wird, das eine beständige Bewegung durch Urzeugung entstehender niederster Lebewesen vom Niederen zum Höheren auf der Stufeneiter in Gang hält. Durch die Beziehungen zwischen Lebewesen und Milieu erfolgen Ablenkungen von der aufsteigenden Richtung. Dadurch verzweigt sich die Stufenleiter, die bei Lamarck gleichsam zu einer Rolltreppe geworden ist, und lässt die Mannigfaltigkeit der Formen entstehen.

Das *Denken Darwins* wurde nicht von dieser Tradition der Stufenleiter und ihrer Verzeitlichung bestimmt, die ihm natürlich geläufig war. Er *ging von der natürlichen Systematik und der Morphologie aus*, die mit der linearen Stufenleiterkonzeption vielfach kollidierte. Sein Anliegen war die Erklärung der gradweise abgestuften Mannigfaltigkeit der Organismen durch „Abstammung mit Modifikation" vermittels Variabilität und Selektion. Hier wurde die phänotypische Divergenz der Taxa, die die Mannigfaltigkeit strukturiert, zum Problem. Dabei ist nun auch von „*Stufenleiter der Organisation*", von „höheren" und „niederen" Organismen, von „Vervollkommnung" und „*Fortschritt*", aber auch von „*Rückschritt*" die Rede. Es ist keine einfache Übernahme der Terminologie der Stufenleiterkonzeption; die Übertragung auf evolutive Sachverhalte schließt den *Wandel der Begriffe* ein.

„Die natürliche Zuchtwahl wirkt ausschließlich durch die Erhaltung und Anhäufung solcher Veränderungen, die dem Wesen unter den organischen und anorganischen Lebensverhältnissen, denen es in allen Perioden seiner Lebenszeit ausgesetzt ist, nützlich sind. Das Endergebnis ist, daß jedes Wesen nach immer vorteilhafterer Abänderung im Verhältnis zu seinen Lebensbedingungen strebt. Diese Veränderung führt unausbleiblich bei der Mehrheit aller Lebewesen zu einem stufenweisen Fortschritt der Organisation. Indessen geraten wir hier auf einen sehr verwickelten Gegenstand, denn kein Naturforscher konnte bis jetzt eine befriedigende Definition dafür geben, was unter Fortschritt der Organisation zu verstehen ist", schrieb Darwin.[121]

Dass eine Definition erforderlich und dass sie schwierig ist, zeigt sich mit aller Deutlichkeit erst, wenn die Linearität der statischen wie der verzeitlichten Stufenleiter verlassen ist, bei der man vornherein schon zu wissen meinte, was an ihrer Spitze steht, und die Dinge davon ausgehend anordnete; alles, was zwischen Anfang und Spitze steht, hat Niederes unter sich und Höheres über sich und nichts neben sich. *Evolution* auf sich verzweigenden Wegen aber zeigt vergleichbares Nebeneinander und verlangt *Maßstäbe*, die dem Verglichenen selbst entnommen sind. Und wie diese Maßstäbe auch ausfallen, ihre Anwendung ergibt, dass es nicht nur aufwärts geht. „Wenn wir die Summe der Differenzierung und Spezialisierung der einzelnen Organe eines ausgewachsenen Wesens (und das schließt auch den Fortschritt der Gehirnentwicklung für intellektuelle Leistungen ein) als Normalmaß für hohe Entwicklung gelten lassen, so muß die natürliche Zuchtwahl offenbar zur Erhöhung oder Vervollkommnung führen ... Andererseits sehen wir in Anbetracht dessen, daß sich alle organischen Wesen verhältnismäßig rasch zu vermehren und jeden freien Platz im Haushalt der Natur zu besetzen suchen, daß die natürliche Zuchtwahl sehr wohl ein Wesen Verhältnissen anpassen kann, unter denen ihm einzelne Organe überflüssig und nutzlos werden; in solchen Fällen erfolgt ein Rückschritt auf der Stufenleiter der Organisation", vermerkte Darwin.[122]

Im weiteren warf Darwin die Fragen auf, wie es komme, dass in jeder großen Klasse einige Arten höher entwickelt seien als andere, warum nicht überall die höher entwickelten Formen die niederen ersetzt und vernichtet haben. Er betont, für seine Theorie biete „die fortdauernde Existenz niederer Wesen keine Schwierigkeiten, denn die natürliche Zuchtwahl ... schließt noch nicht notwendig einen Fortschritt der Entwicklung ein; sie zieht vielmehr nur aus solchen Veränderungen Vorteile, die einem Wesen in seinen verwickelten Lebensbedingungen nützen".[123] Insgesamt zeigt sich, dass der Begründer der biologischen Evolutionstheorie bereits den Komplex von Fragen erfasst hatte, um die es unter heutigen Bedingungen immer noch geht, und dass die Darwinsche Revolution in der Geschichte der Biologie auch die Problematik der *Höherentwicklung* betrifft.

121 Ch. Darwin. Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl, a. a. O., S. 135.
122 Ebenda, S. 136 f.
123 Ebenda, S. 137.

Dazu seien nun einige Gesichtspunkte hervorgehoben:

Erstens gibt es keine immanente Zielgerichtetheit der Evolution im Sinne autogenetischer Evolutionskonzeptionen, wie sie Dobzhansky ironisch kennzeichnet: „Vom Urvirus beziehungsweise von der Uramöbe wird behauptet, daß sie in einem latenten Stadium sämtliche organischen Formen enthielten, die sich aus ihnen entwickelt haben, einschließlich die des Menschen. Evolution war eine Art Striptease-Schau, wobei eine Verkleidung nach der anderen abgeworfen wird, bis sich ihr gelegentlich höchst vollkommenes Endprodukt offenbarte. Und dieser Prozeß einer allmählichen Enthüllung organischer Formen erfolgte erstaunlicherweise so, daß sie sich für die Umweltbedingungen eignen, die jeweils vorherrschen, wenn diese Formen erscheinen!“[124]

Die *Zukunft der Evolution ist nicht vorherbestimmt*, sondern ein *Feld von Möglichkeiten*, das aus ihrer Vergangenheit und den Umständen resultiert. Die in der vorangegangenen Evolution entstandene Organisation der Lebewesen bedingt und begrenzt, was aus ihren Nachkommen in der weiteren Evolution werden kann. Letztlich sind es die *widersprüchlichen* Beziehungen zwischen dem ziellos-zufälligen Mutationsgeschehen und der natürlichen Auslese im Ringen um die Existenz, in die die Lebewesen in ihrer stammesgeschichtlich gewordenen inneren Bedingtheit eingespannt sind, die die Lebensentwicklung vorantreiben.

Zweitens ist die Organismenevolution keine Einbahnstraße, die vom Niederen zum Höheren führt. Andernfalls gäbe es die gegenwärtige Mannigfaltigkeit verschiedenartiger Lebewesen nicht, für die alle der Lebensursprung gleich weit zurückliegt, und wären nicht unzählige Arten im Verlauf der Erdgeschichte ausgestorben. Das Leben hat sich zwischen seiner Entstehung und der Gegenwart auf vielen Wegen voranbewegt. Einige davon führten von einfachen Anfängen zu höheren Formen der Lebensorganisation, die der Biosphäre Elemente neuer Bauart hinzufügten und die über die vorhandenen Formen dominierten, so in der Geschichte des Pflanzenreiches zuletzt die Blütenpflanzen und in der Geschichte des Tierreiches die Säugetiere, aus denen auch der Mensch hervorging. Andere Evolutionswege gewährleisteten den Fortbestand einmal entstandener Organismengruppen und ein großer Teil von ihnen erwies sich zu irgend einer Zeit als Sackgasse, die mit dem Artentod endete. Einige Organismengruppen, „lebende Fossilien“, erhielten sich über ganze geologische Epochen ziemlich unverändert. Eindrucksvoll demonstrieren z. B. zahlreiche parasitär, in Höhlen oder im Boden lebende Organismen, dass Anpassung an spezielle Lebensbedingungen auch den Verlust von Merkmalen einschließen kann, die die von Vorfahren erreichte Entwicklungshöhe kennzeichnen.

Offenkundig schließt die Organismenevolution sowohl *Fortschritt* als auch *Stasis* als auch *Rückschritt* ein, die sich auf Grund innewohnender Möglichkeiten unter konkreten Bedingungen verwirklichen. Dabei sind *Tendenzen der Höherentwicklung* für die

124 Th. Dobzhansky, Dynamik der menschlichen Evolution, a. a. O., S. 33.

Evolution der verschiedenen Organismengruppen grundlegend als Voraussetzungen ihrer Entfaltung. In der Evolution der Primaten schuf diese Entwicklungstendenz die biotischen Voraussetzungen dafür, dass sich unsere tierlichen Vorfahren über die naturgegebenen Bedingungen ihres Daseins hinausarbeiten konnten.

Drittens ist die Entwicklung vom Niederen zum Höheren – ebenso wie andere allgemeine Evolutionsrichtungen – *objektiv bestimmbar*. Dabei spielt anthropozentrische Wertung ebenso wenig eine Rolle, wie es der Fall ist, wenn wir z. B. von niederen und höheren Taxa im Hinblick auf ihre Zuordnung zur Rangfolge der taxonomischen Kategorien sprechen oder von niederen und höheren Niveaus der Organisation des Lebenden, z. B. der molekularen Ebene, dem organismischen Niveau, dem Populations- und Artniveau oder dem der Biozönosen. Das Gemeinsame – übrigens auch mit der alten Stufenleiter der Dinge – besteht darin, dass sich „höher" und „nieder" auf die Stellung von Dingen in einem ideellen oder materiellen, jedenfalls aber *hierarchischen System* bezieht. Im Zusammenhang mit der *Höherentwicklung* geht es um die evolutionär entstandene Organisationshöhe bzw. die Niveaus organismischer Organisation (oder auch überorganismischer Strukturen wie Tiersozietäten).

In darwinistisch orientierten Erörterungen der Makroevolution wird mehr als eine Definition vorgeschlagen und werden verschiedene Zusammenstellungen von Kriterien angegeben, die alle nicht gegen Kritik gefeit sind, die aber jedenfalls alle objektiven und nicht anthropozentrischen Charakter tragen. Vor allem beziehen sie sich auf drei Komplexe: 1. die *morpho-physiologische Organisation der Organismen* mit Merkmalen wie Kompliziertheit, Differenziertheit und Spezialisierung, Integration und Zentralisation, Individuation und Aggregation; 2. auf die Beziehungen zur Umwelt, eine *relative Autonomie* gegenüber fluktuierenden Umweltbedingungen o. ä., und 3. auf den *Informationsgehalt des Organismus*, wobei Höherentwicklung durch Informationszunahme gekennzeichnet ist.[125] Das sind gewiss keine einander ausschließenden Aspekte. Vielmehr dürfte eine weitere theoretische Klärung der Höherentwicklungsproblematik gerade dadurch zu erreichen sein, dass diese Aspekte zur detailliert ausgearbeiteten Synthese geführt werden – zu einer Synthese, bei der man die gesamte Organismenwelt und ihre Phylogenese vor Augen haben muss und nicht etwa nur eine von der Lebensentstehung zur Menschwerdung gezogene Linie.

Ein Begriff taugt ganz ohne Zweifel nicht, um Höherentwicklung zu definieren und zu charakterisieren: der der Anpassung. Immer wieder einmal kann man hören oder lesen, dass sich die Lebewesen vom Niederen zum Höheren entwickelt haben, indem sie sich immer besser ihrer Umwelt anpassten. Mit N. K. Kol'cov lässt sich solcher Auffassung entgegenhalten: „Das Malariaplasmodium ist nicht weniger an-

125 Vgl. H. Hörz/U. Röseberg (Hrsg.), Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis, Berlin 1981, Kap. IV; U. Kull, Evolution, Stuttgart 1977, S. 207; G. L Stebbins/F. J. Ayala, Die Evolution des Darwinismus, a. a. O.

gepaßt als der Mensch und die Anopheles."[126] *Anpassung vollzieht sich und mit jeder Richtung evolutionären Voranschreitens.*

Viertens ist N. V. Timofeev-Resoskij, N. N. Voroncov und A. V. Jablokov zuzustimmen, wenn sie schreiben: „Es ist logisch gerechtfertigt, in der Entwicklung der lebenden Natur auf der Erde eine zur Entstehung des Menschen führende Richtung hervorzuheben, wenn man einerseits die objektive Notwendigkeit der Entwicklung der Lebewesen von niederen zu höheren Formen anerkennt und wenn man andererseits bestimmte konkrete Bedingungen berücksichtigt, die eben gerade zu diesem Ergebnis (der menschlichen Gesellschaft) auf der Erde geführt haben."[127]

Dies anerkennend, ist nicht zu vergessen, dass Höherentwicklung die *Relativität organismischer Zweckmäßigkeit* nicht aufhebt. Hier verbindet sich das Ja zur Höherentwicklung als objektivem Prozess und zur Evolution zum Menschen als einem Prozess der Höherentwicklung mit dem Nein dazu, Höherentwicklung mit der strukturell-funktionellen Vervollkommnung des Organismus schlechthin und aller seiner Teile zu identifizieren, etwa auch des Wurmfortsatzes des Blinddarms. R. Riedl weist darauf hin, dass unsere Gestalt ein Kompromiss ihrer eigenen Geschichte ist. „Und sie enthält mehr Geschichte als Anpassung. Nur Großhirn, Kehlkopf und Hände beispielsweise sind in progressiver Entwicklung. Der Rest ist ja Plan eines Urfisches, zur Brückenkonstruktion eines Kriechtieres zurechtgebastelt, und auch diese Brücke ist noch auf nur zwei ihrer Beine aufgerichtet. Allein mit der Aufrichtung haben wir uns ... Schwindel, Bandscheibenschwäche, Leistenbruch, Hämorrhoiden, Krampfadern und Senkfüße eingehandelt ... Wir wären eine katastrophale Planung, hätte uns jemand geplant. Doch, soweit wir sehen, können wir uns nirgends beklagen."[128] Es ist ein allgemeiner Sachverhalt, der hier exemplifiziert wird, nichts, das speziell etwas mit Höherentwicklung und Menschwerdung zu tun hat, sondern damit, wie die Organismenevolution generell vonstatten geht. Es sollte aber nicht aus dem Auge verloren werden, denn auch das höchste Produkt der Evolution fällt da nicht aus dem Rahmen.

Fünftens unterscheidet sich die Evolution zum Menschen von anderen konkreten Richtungen der Höherentwicklung, etwa der zu den Blütenpflanzen oder der bei den Arthropoden. Die Erörterung der *progressiven morpho-physiologischen Evolution oder „Anamorphose"* (*Severov*), die mit der Entwicklung der einem Organismus zugänglichen Umwelt verbunden gesehen wird, führt Smal'gauzen dazu, diese Evolutionsrichtung gedanklich zu extrapolieren zu einer unbegrenzten Erweiterung der Umwelt, d. h. nicht nur zur Ansiedlung dieser Lebewesen auf der gesamten Erdoberfläche, wo nur Leben überhaupt möglich ist, sondern auch zur Ausnutzung aller Hilfsquellen des Lebens. Ein solches Lebewesen befinde sich, wie der Autor sagt, in einer ganz

126 Zit. nach N. V. Timofeev-Ressovskij/N. N. Voroncov/A. V. Jablokov, Kurzer Grundriß der Evolutionstheorie, Jena 1975, S. 258.
127 Ebenda, S. 272.
128 R. Riedl, Die Strategie der Genesis, 3. Aufl., München 1984, S. 19 ff.

besonderen Position allen anderen Organismen gegenüber. Er hebt sich über sie hinaus, besitzt alle Umwelten und unterwirft sie seinen Bedürfnissen. Diese höchste Etappe der Anamorphose bedeutet also etwas prinzipiell Neues – die *Herrschaft über Umweltbedingungen.* Es versteht sich von selbst, dass (in einer gegebenen Zeit) nur eine Organismenart alle Umwelten in Besitz nehmen kann, weil die Inbesitznahme aller Umwelten die Herrschaft über alle anderen Organismen bedeutet. Das ist die letzte denkbare Etappe auf dem Weg der Anamorphose. Für sie schlägt Smal'gauzen die Bezeichnung „*Epimorphose*" vor. Er konstatiert: „Diese letzte denkbare Etappe der Evolution erreichte in geologisch jüngst vergangener Zeit der Mensch."[129] Es ist der einzige bisher bekannte Fall von Epimorphose. Die Epimorphose, die auf der Erde in der *Anthropogenese* erfolgte, ist ein Vorgang gleichen Ranges wie die Entstehung des Lebens. „Epimorphose" ist nicht Synonym, sondern Oberbegriff für Anthropogenese. Evolutionstheoretisch lässt sich die Einmaligkeit der Menschwerdung und die Einzigartigkeit des Menschen im Weltall begründen[130], aber nicht die Einmaligkeit der irdischen Epimorphose durch die Anthropogenese.

Bemerkenswert ist, wie Vernadskij, einer der bedeutendsten Denker des 20. Jahrhunderts, von der Geologie, genauer: der Biochemie, her und K. Marx und F. Engels im vorigen Jahrhundert von der Gesellschaftswissenschaft und Philosophie her auf sich ergänzende Weise zur gleichen *Problematik des Platzes des Menschen in der Natur und seiner Rolle in der Entwicklung der Erde und des Lebens* stießen. Bei *Vernadskij* ist es die *Konzeption von der Evolution der Biosphäre* und ihrer durch das Denken und die Arbeit der Menschheit bewirkte *Transformation in die Noosphäre* als geologisch jüngstem Evolutionsstadium der Biossphäre.[131] Wenn von *Beherrschung der Natur*, der Umwelt, der Organismen die Rede ist, dann jedenfalls bei allen drei konvergierenden Richtungen des Denkens, der evolutionsbiologischen Smal'gauzens, der geowissenschaftlichen Vernadskijs und der marxistischen, im Sinne von Engels, dass wir bei jedem Schritt daran erinnert werden, „daß wir keineswegs die Natur beherrschen wie ein Eroberer ein fremdes Volk beherrscht, wie Jemand, der außer der Natur steht – sondern daß wir mit Fleisch und Blut und Hirn ihr angehören und mitten in ihr stehn, und daß unsre ganze Herrschaft über sie darin besteht, im Vorzug vor allen andern Geschöpfen ihre Gesetze erkennen und richtig anwenden zu können."[132]

Schließlich ein *sechster* Gesichtspunkt. „Angenommen, es sei möglich, die Evolutionsrichtung, die für unser Leben bisher entscheidend gewesen ist, mit genügend großer Sicherheit zu erkennen, würde sich daraus dann auch mit Notwendigkeit ergeben, daß diese Richtung gut ist, und dass wir uns bemühen sollten, dazu beizutragen,

129 I. I. Smal'gauzen, Problemy darvinizma, a. a. O., S. 466.
130 Vgl. T. Stutt, The Anthropic Principle and the Synthetic Theory of Evolution, in: Izvestija Akademii Nauk Estonskoj SSR, Biologija, 1/1987, S. 1-8.
131 Vgl. R. Löther, Mit der Natur in die Zukunft, Berlin 1985, S. 83 f.
132 F. Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, 26. Band, a. a. O., S. 551.

dass sie erhalten bleibt? Die Evolution hat zur Entstehung eines Geistes geführt, der fähig ist, zu erkennen, daß er selbst ein Ergebnis der Evolution ist und dass er sich im künftigen Evolutionsgeschehen noch weiter entwickeln kann. Sollte dieser Geist nicht auch fähig sein, den tieferen Sinn des Vorganges zu erforschen, der ihn selbst geschaffen hat? Ein solches Bemühen aber kann sich nur auf Begriffsbestimmungen des Wortes ‚Sinn' stützen, die an sich mit dem Evolutionsvorgang selbst gar nichts zu tun haben, sondern gänzlich anderen Ursprungs sind", vermerkt Dobzhansky[133], den Circulus vitiosus des ethischen Naturalismus am Begriff „Sinn" vor Augen führend und die Frage nach den Orientierungen und Maßstäben menschlichen Handelns aufwerfend. Auch A. Schweitzer legt den Circulus vitiosus des ethischen Naturalismus bloß. Wie er bemerkt, „ist die Annahme einer im Weltgeschehen waltenden Objektivität, die für unser Handeln vorbildlich werden soll, nichts anderes, als ein mit ganz blassen Farben unternommener Versuch, die Welt ethisch zu deuten ... Wo immer überhaupt das menschliche Denken das Sein-wie-die-Welt zur Ethik erhebt, hat das ethische Wollen des Menschen dem Weltgeist irgendwie ethischen Charakter beigelegt, um sich in ihm wiederfinden zu können."[134] Nicht darin, dass wir das Ergebnis organismischer Höherentwicklung sind, liegt eine *anthropozentrische Illusion*, sondern darin, dass sie unserer Spezies zu mehr verholfen habe als zu ihrem *Dasein*, nämlich auch zu dessen *Wert und Sinn.* Sie hängen davon ab, was die Menschen durch ihr Erkennen und Handeln aus ihren Bedingungen und Möglichkeiten machen. „Vom Affen abzustammen ist nicht schwer, Mensch muss man werden können", lautet ein Aphorismus. Das war deutlicher als in dieser unserer Zeit, in der es darum geht, mit neuem Denken das Überleben der Menschheit zu sichern.

133 Th. Dobzhansky, Die Entwicklung zum Menschen, Hamburg – Berlin (West) 1958, S. 389.
134 A. Schweitzer, Kultur und Ethik (1923), in: A. Schweitzer, Ausgewählte Werke in fünf Bänden; Bd. 2, Berlin 1971, S. 367 f.

Kapitel VI: Evolutionärer Kosmos und Mensch

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die Dialektik der (Natur-)Erkenntnis und die subjektive Dialektik exemplarisch für die drei Naturwissenschaften Physik, Chemie und Biologie abgehandelt wurden, ist nun die *objektive* Dialektik der Natur in den Mittelpunkt der Betrachtungen zu rücken. Da der philosophische Entwicklungsgedanke gegenwärtig in *allen* Naturwissenschaften eine Rolle spielt und zahlreiche evolutionstheoretische Forschungsresultate dieser Wissenschaften mit Nachdruck ein *disziplinübergreifendes einheitliches*, *evolutionäres Weltbild* fordern, sind unsere Ausführungen zur objektiven Dialektik der Natur, von vornherein auf den *Entwicklungsaspekt* zu konzentrieren Dabei sollte sich, eben weil im Entwicklungsdenken die Dialektik ihren konzentriertesten Ausdruck findet, der Sinn unseres Redens von objektiver Dialektik besonders klar erweisen.

In den Diskussionen unter marxistisch-leninistischen Philosophen ist immer wieder die Forderung zu hören, die *objektive Dialektik der Natur* direkt und ohne Umschweife darzustellen. Diese Darstellung müsse auch ohne die methodisch mehr oder minder komplizierten philosophischen Reflexionen auskommen, wie sie beispielsweise eingeführt wurden, um Aussagen über dialektische Widersprüche in jenen Wirklichkeitsbereichen zu treffen, deren objektive Gesetze mittels mathematisierter, also den logischen Widerspruch ausschließender, einzelwissenschaftlicher Theorien erfasst werden. Unser im folgenden fixierter Forschungsstand lässt hingegen vermuten, dass die Forderung nach solch einer Darstellung objektiver Naturdialektik prinzipiell nicht einzulösen ist, weil sie der Illusion anhängt, die im dialektischen Materialismus erreichte *dialektische Einheit von Ontologie und Gnoseologie* wiederum zugunsten einer von erkenntnistheoretischen Reflexionen freien Ontologie und einer von ontologischen Orientierungen freien Gnoseologie aufzulösen. Wir sind in all unseren Ausarbeitungen zu diesem Kapitel beständig auf den Zwang gestoßen, Aussagen zur objektiven Dialektik über Aussagen zur Dialektik von Erkenntnisprozessen und zur subjektiven Dialektik zu gewinnen oder aber bereits gewonnene Aussagen über objektive dialektische Sachverhalte auf diesem Wege im nachhinein mindestens philosophisch zu rechtfertigen.

Unsere ursprüngliche Absicht, Resultate neuester *naturwissenschaftlicher Evolutionsforschung* und Ergebnisse von Überlegungen zur *philosophischen Entwicklungstheorie* zu nutzen, um den zeitlichen Ablauf des Evolutionskosmos vom Urknall bis zur Entstehung des Menschen und der menschlichen Gesellschaft zu rekonstruieren, ließ sich nicht problemlos realisieren. Dafür waren nicht so sehr die naturwissenschaftlichen Erkenntnislücken über bestimmte Entwicklungsabschnitte dieses Geschehens als vielmehr die Tatsache verantwortlich, dass es in der gesamten Evolutionsforschung *einander widersprechende* wissenschaftliche Auffassungen, Modelle, Theorieansätze und Theorien gibt. In Abhängigkeit davon, *welche* naturwissenschaftlichen Annahmen bezüglich der entscheidenden qualitativen Umschlagspunkte im objektiven

Entwicklungsgeschehen gemacht werden, ergeben sich zwangsläufig *unterschiedliche* Beurteilungen für die den Prozess vorantreibenden Entwicklungswidersprüche, werden *voneinander abweichende* Möglichkeitsfelder aufgespannt, rücken *verschiedene* Gesichtspunkte der Strukturierung des Entwicklungsgeschehens in Zyklen und Teilzyklen in den Mittelpunkt der Betrachtungen, womit dann auch *unterschiedliche* Bewertungsaspekte für die Diskussionen um Entwicklungskriterien verknüpft sein können. Angesichts dieser und weiterer im einzelnen noch zu erörternder Probleme hätte die Verwirklichung der ursprünglichen Absicht, im wesentlichen *ein* naturwissenschaftlich mögliches Szenarium objektiver Naturentwicklung als den gegenwärtigen Erkenntnisstand über *die* objektive Naturdialektik erscheinen zu lassen, ganz einschneidende Folgen gezeitigt. Sie hätte nämlich verlangt, jeweils *eine* wissenschaftliche Position zu favorisieren, ohne die damit getroffene Entscheidung überhaupt als eine solche auszuweisen, geschweige denn sie gar noch begründen zu können. Auf diese Weise aber wäre eine *wissenschaftlich* fundierte Beantwortung der weltanschaulichen Frage nach der Stellung des Menschen im evolutionären Kosmos nicht zustande gekommen; den zahlreichen naturphilosophischen Spekulationen hätte sich lediglich eine weitere hinzugesellt – diesmal allerdings eine wissenschaftlich verbrämte. Um dies zu verhindern, haben wir es für rotwendig befunden, die Schilderung objektiv möglichen vergangenen Geschehens immer wieder durch Hinweise auf objektive Möglichkeiten zu alternativen Abläufen zu unterbrechen und das alles dann noch dadurch zu problematisieren, dass mindestens exemplarisch einige der unterschiedlichen, teilweise alternativen naturwissenschaftlichen Sichtweisen erwähnt werden.

Alles, was wir über die objektive Dialektik der Natur auszusagen vermögen, ist an *philosophische Verallgemeinerungen* der in den wissenschaftlichen Theorien enthaltenen subjektiven Dialektik gebunden. Da für die Beziehung der objektiven zur subjektiven Dialektik die Dialektik des Erkenntnisprozesses sowohl in systematischer Hinsicht als auch in der ihr eigenen historischen Perspektive von Bedeutung ist, genügt die einfache Schilderung des gegenwärtigen Forschungsstandes der Naturwissenschaften nicht. Über die kurzen wissenschaftshistorischen Exkurse soll dieses Problem – wiederum in exemplarischer Auswahl – für den gesamten Text zur Naturdialektik präsent bleiben.

Obgleich die Autoren der einzelnen Abschnitte methodisch unterschiedlich herangehen (diese Unterschiede sind teilweise nicht einmal explizit reflektiert), lässt sich das Fazit ihrer diesbezüglichen Überlegungen auf die These bringen: Die Darstellung *objektiver Dialektik* der Natur ist mit einer von der *subjektiven Dialektik* der Naturwissenschaften absehenden und die *Dialektik der* (*Natur-*)*Erkenntnis* nicht reflektierenden *Ontologie unvereinbar. Naturdialektik* ist ein philosophisch-theoretisches Konzept, dessen Stärke in der weltanschaulichen Orientierung der naturwissenschaftlichen Forschung auch daraus resultiert, die drei Ebenen der Dialektik (objektive, subjektive Dialektik und Dialektik des Erkenntnisprozesses) theoretisch und methodisch zusammenzudenken.

Der nachfolgende Versuch die materialistisch verstandene Naturgeschichte in ihren wesentlichen, von der naturwissenschaftlichen Forschung bislang erkannten Etappen zu rekonstruieren, dient nun aber keineswegs lediglich der Klärung theoretischer und methodischer Statusfragen des als „Dialektik der Natur und der Naturerkenntnis" charakterisierten Forschungsprogramms. Den gegenwärtigen Erkenntnissen über objektive Entwicklungsabläufe kommt – bei aller methodisch gebotenen Vorsicht – große weltanschauliche Bedeutung zu. Sie gehen in vielen Details weit über das hinaus, was Engels bei der Abfassung seiner Manuskripte zur „Dialektik der Natur" wissen konnte. Im Interesse der Wissenschaftlichkeit unserer Philosophie ist es dringend geboten, die von neueren und neuesten naturwissenschaftlichen Arbeiten zur Evolutionsproblematik ausgehende intellektuelle Faszination nachzuempfinden, ohne dabei Modeerscheinungen aufzusitzen. Angesichts der weltweit zu konstatierenden schöpferischen Unruhe *naturwissenschaftlicher Evolutionsforschung* wäre es verhängnisvoll, wenn philosophische Untersuchungen den völlig unzutreffenden Eindruck vermittelten, dass die Naturwissenschaftler in aufwendiger und mühevoller Forschungsarbeit zur Evolutionsproblematik im Prinzip nichts anderes zu finden vermögen, als das, was *philosophisch* als *Entwicklungstheorie* ausgearbeitet vorliegt. Trotzdem haben wir zugleich mit der Kenntnisnahme des neuen naturwissenschaftlichen Materials wiederum die Frage nach der weiteren Tragfähigkeit der dialektisch-materialistischen Entwicklungstheorie zu beantworten, haben wir zu prüfen, inwiefern das neue Material wirkliche Präzisierungen bisheriger philosophischer Aussagen verlangt und wo es zu philosophischen Hypothesen anregt, die die weitere Evolutionsforschung *heuristisch* orientieren.

Im Mittelpunkt unseres philosophischen Interesses steht die Frage nach den Möglichkeiten des entwicklungstheoretischen Verständnisses des von Engels eingeführten Konzepts der *Bewegungsformen der Materie*. Besondere Aufmerksamkeit widmen wir dabei der Dialektik qualitativer Umschlagspunkte innerhalb des von der physikalischen, über die chemische, die geologische und die biotische schließlich zur gesellschaftlichen Bewegungsform führenden Entwicklungsprozesses.

Die *physikalische Bewegungsform der Materie* ist entwicklungstheoretisch die einfachste; sie selbst aber wird in der Physik erst seit kurzem mit aller Konsequenz unter evolutionstheoretischen Gesichtspunkten analysiert (1. Abschnitt). Dabei zeigt sich ein für das gesamte wissenschaftliche Denken unserer Zeit charakteristischer Zug. Wir werden auch in der Physik Zeuge, wie Struktur- und Prozessdenken immer mehr durch Entwicklungsdenken ergänzt wird und sich dieses Entwicklungsdenkens zugleich als notwendige Konsequenz vorangegangener Struktur- und Prozessanalysen ergibt. Jüngstes und wohl sensationellstes Beispiel dafür ist die Verschmelzung der modernen Hochenergiephysik mit der Kosmologie. Indem kosmologische Erkenntnisse in die Hochenergiephysik eingebracht werden, lassen sich plötzlich Aussagen über das evolutionäre Gewordensein physikalischer Objekte von den gegenwärtig elementarsten Bausteinen der Materie bis zu den kosmologischen

Strukturen selbst machen. Zugleich erlauben Erkenntnisse über den Zusammenhang der vier bekannten physikalischen Wechselwirkungen Rekonstruktionen vergangenen kosmischen Geschehens und Prognosen über zukünftiges. Die physikalischen Strukturbildungsprozesse sind die elementarsten Voraussetzungen aller höheren Evolutionsvorgänge. Damit kommt auf die philosophische Entwicklungstheorie fundamental Bedeutung zu.

In den Untersuchungen zur *physikochemischen Evolution* (2. Abschnitt) wird der Frage nachgegangen, wie die Entfaltung der physikalischen Bewegungsform zu einem höheren materiellen Strukturniveau treibt. Zugleich wird gefragt, ob die so konstituierte *chemische Bewegungsform* auch auf das Möglichkeitsfeld weiterer physikalischer Evolution zurückzuwirken vermag. Mit der letztgenannten Frage ist eine generelle philosophische Problematik verbunden. Genügt es, die Bewegungsformen der Materie einfach als genetisch auseinander hervorgegangen zu verstehen, oder sind nicht vielmehr auch kompliziertere Zusammenhänge ins Auge zu fassen?

Die Aufarbeitung des reichhaltigen Materials zur *präbiotischen Evolution* (3. Abschnitt) ist um eine innere Differenzierung dieses bislang in der naturwissenschaftlichen Forschung begrifflich wenig differenzierten Übergangsfeldes zur *biotischen Evolution* bemüht und dient dazu, den Nachweis zu führen, *wie* die *physikalische* und die *chemische Bewegungsform* auf der Grundlage innerer Dynamik im Wechselspiel mit der *Geoevolution* über sich hinaustreiben. Die entsprechenden Qualitätsumschläge machen es erforderlich, verstärkt über die *Evolution der Evolutionsmechanismen* nachzudenken.

Die Ausführungen zur *biotischen Evolution* (4. Abschnitt) konzentrieren sich philosophisch auf die Problematik objektiv existierender Möglichkeitsfelder. Es geht darum, die Komplexität zeitlich versetzter Determinationsfaktoren adäquat zu berücksichtigen. Die Realisierung bestimmter Möglichkeiten eines sehr viel breiteren Möglichkeitsfeldes führt zwangsläufig zur Diskussion der vielschichtigen Dialektik von Notwendigkeit und Zufall. Die in Gestalt von Zyklen und übergreifenden Großzyklen vorliegenden Strukturierungsversuche von Evolutionsabläufen bieten der Diskussion um die relativen Ziele Nahrung.

In den Untersuchungen zur *Anthropogenese* (5. Abschnitt) wird mit gebotener Vorsicht versucht – ganz im Sinne der weltanschaulichen und methodischen Orientierung von F. Engels' „Anteil der Arbeit an Menschwerdung des Affen" –, die heuristische Kraft dialektisch und historisch-materialistischen Denkens in die weltanschaulich und ideologisch mitbestimmten Diskussionen zur Vielfalt der wissenschaftlichen Problemstellungen zum Tier-Mensch-Übergangsfeld einzubringen. Dies ist – und darin liegt der für Philosophen wohl provokativere Akzent dieses Textes – *nur* dann berechtigt, wenn der Spezialist für Weltanschauungsfragen zugleich seine Lernfähigkeit dadurch unter Beweis stellt, dass er Ergebnisse der Spezialforschung als Präzisierungen, gelegentlich sogar Korrekturen seiner weltanschaulichen Positionen zu verstehen vermag. Entsprechendes aber gilt natürlich für alle im vorliegenden Buch

vorgetragenen Überlegungen. Die Beziehungen der Philosophie, auch der dialektisch-materialistischen, zu den anderen Wissenschaften sind keine Einbahnstraßen. Was wir zu fixieren versucht haben, soll ein Angebot zum klärenden wissenschaftlichen Meinungsstreit sein.

1. Kosmische Evolution

1.1 Nachdenken über den Anfang

Seit der Mensch über die Welt nachdenkt, fragt er nach ihrer Herkunft und damit oft auch nach ihrem Beginn. Es ließe sich eine stattliche Sammlung von Äußerungen aus schriftlichen Auslassungen unterschiedlichster Natur zusammenstellen, die mit der Formulierung „Am Anfang war ..." beginnen und in bündiger Weise wesentliche Positionen zum Ausdruck bringen. So beginnt das Johannes-Evangelium mit „Im Anfang war das Wort." Goethe lässt Faust in der Studierzimmerszene über diese Bibelstelle meditieren. Unzufrieden mit der Übersetzung von „logos" mit „Wort" versucht es Faust zunächst mit „Sinn", dann mit „Kraft", um schließlich sich für: „Im Anfang war die Tat!" zu entscheiden. Kant berichtet über Halleys Deutung kosmischer Nebel mit „weißlichtem Schimmer": Sie ließen sich in Übereinstimmung mit der Mosaischen Schöpfungsgeschichte bringen, „nämlich daß das Licht eher als die Sinne erschaffen sei."[1] Leibniz schreibt in seiner „Protogäa": „Die Wärme aber und die innere Bewegung kommen vom Feuer her oder vom Licht. Und so sind wir auf dieselbe bewegende Ursache gekommen, aus der auch die Heilige Geschichte den Beginn der Weltentstehung herleitet."[2] Sehr alt und heute wieder – wenn auch in anderer Weise – modern sind die Versionen „Am Anfang war das Chaos" oder „Am Anfang war das Nichts". St. Weinberg schreibt in seinem berühmten Buch über das Frühstadium unseres Kosmos: „Zu Anfang gab es eine Explosion."[3] H. v. Ditfurth betitelt ein Buch zur kosmischen Evolution mit „Im Anfang war der Wasserstoff".[4] In einem Artikel über kosmische Strukturbildungsprozesse finden wir die Zwischenüberschrift „Am Anfang waren Fluktuationen."[5] Dieses Beispiel ließe sich nahezu beliebig vermehren. Es sei nur noch die dialektische Wendung, die einem Roman über Giordano Bruno den Namen gab, angeführt: „Am Anfang war die Ewigkeit".[6]

1 I. Kant, Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels, Berlin 1955, S. 53.
2 G. W. Leibniz, Protogäa (oder Abhandlung von der ersten Gestalt der Erde und den Spuren der Historie in den Denkmaalen der Natur), Stuttgart 1949, S. 9.
3 St. Weinberg, Die ersten drei Minuten. Der Ursprung des Universums, München 1980, S. 14.
4 H. v. Ditfurth, Im Anfang war der Wasserstoff. Hamburg 1972.
5 J. Silk/A. S. Szalay/J. B. Zel'dovich, Die großräumige Struktur des Universums, in: Spektrum der Wissenschaft, 12/1983, S. 84.
6 M. Jordan, Am Anfang war die Ewigkeit. Ein Giordano-Bruno-Roman, Berlin 1971.

Mit der *relativistischen Kosmologie* ist es zu einer tiefgreifenden Wende hinsichtlich der alten Fragen nach Herkunft, Anfang und Ende des Weltalls gekommen. Völlig neue und unerwartete Antworten werden gegeben. Ebenso ungewöhnlich sind die Fragen, die wiederum aus diesen Antworten resultieren. Als Beispiel mögen Überlegungen des englischen Astrophysikers und Schöpfers der Theorie von der Zerstrahlung Schwarzer Löcher, St. Hawking, und des Leningrader Astrophysikers A. D. Černin dienen.

Hawking fragt in einem mehrfach nachgedruckten Aufsatz nach dem „Rand der Raum-Zeit".[7] Zur Zeit der Herrschaft des statischen Weltbildes, schreibt er, wäre die Frage nach dem Anfang des Universums eine metaphysische Fragestellung gewesen. Man hätte entweder annehmen können, dass es ewig existiert, oder dass es vor endlicher Zeit durch einen Schöpfungsakt entstanden sei. Mit der von Friedman auf der Grundlage der Einsteinschen Allgemeinen Relativitätstheorie geschaffenen Lehre vom nichtstationären Kosmos habe die Frage von *Anfang und Ende der Zeit* jedoch eine reale physikalische Grundlage erhalten. Alle Typen der Friedman-Modelle gehen von einem zeitlichen Beginn des Universums aus. Während es nach den Modellen des ewig expandierenden Kosmos kein Ende der Zeit gäbe, existiere diese nach dem Modell des sich nur eine endliche Zeit lang ausdehnenden Kosmos; neben dem „big bang" weise der Kosmos noch einen „big crunch" auf.[8] Alle wissenschaftlichen Theorien seien in den Begriffen von *Raum und Zeit* formuliert. In dem singulären Punkt, der den Beginn der kosmischen Expansion charakterisiert, verlören diese Begriffe ihre Gültigkeit. Auch wenn vor dem Urknall irgendwelche Ereignisse stattgefunden hätten, könnte sie doch keine Theorie mit dem heutigen Zustand des Kosmos in Beziehung bringen, da ja durch den „big bang" die prognostische Fähigkeit unserer Theorien gebrochen würde.[9] Somit trage die Frage nach dem, was vor dem Urknall war, metaphysischen Charakter. Was sich damals auch ereignet haben möge, es hätte keinerlei Einfluss auf den heutigen Zustand des Kosmos. Daher müsse man Ockhams Rasiermesser ansetzen und derartige Fragen von der Theorie abschneiden und erklären, dass die Zeit mit dem „big bang" entstand. Analog sei es mit den Ereignissen nach dem „big crunch".

Hawking unterstreicht, dass auch die Idee einer Schöpfung an der Situation nichts ändern würde. Man könnte sich zwar eine Erschaffung der Welt durch ein der Welt nicht angehörendes Wesen vorstellen, dies aber nur für die Zeit nach dem Nullpunkt. Es hätte keinerlei Sinn, mit der Idee der Welterschaffung vor dem „big bang" zu operieren.

Vielen, denen die Idee von Anfang und Ende der Zeit nicht gefalle, da sie nach göttlicher Einmischung schmecke, hätten versucht, dieser Konsequenz aus dem Modell

7 St. Hawking, The edge of spacetime, in: New Scientist vom 16.8.1984, S. 10-14.
8 Ebenda, S. 12.
9 Vgl. ebenda.

des expandierenden Kosmos zu entgehen. Zu diesen Versuchen gehört die Steadystate-Theorie von Bondi, Gold und Hoyle (1948). Diese habe sich jedoch im Widerspruch zu den Beobachtungstatsachen befunden. Ein anderer Versuch bestand darin, die Singularität als Folge einer zu hohen Symmetrie der Friedman-Lösungen anzusehen und somit zu hoffen, dass weniger Symmetrie nicht zur Singularität führe. In den 60er Jahren wurde jedoch bewiesen, dass kosmologische Modelle, die von der allgemeinen Relativitätstheorie und realistischen Vorstellungen hinsichtlich der Verhältnisse im Kosmos ausgehen, die Singularität des „big bang" aufweisen müssen.

Ähnlich wie Hawking äußert sich Černin: Der Beginn der Expansion gäbe den natürlichen „Nullpunkt" der *Zeit für das Weltall.* Sein Alter ist die seit diesem Beginn verflossene Zeit. „Aber was war davor? Es zeigt sich, daß diese Frage keinen Sinn hat."[10] Die moderne Physik lehre, daß Zeit nicht an sich existiere. Sie stelle vielmehr eine bestimmte physikalische Charakteristik eines Systems und der in ihm ablaufenden Veränderungen dar. Im Nullpunkt gab es dieses System nicht. „Die Zeit des Weltalls wurde mit ihm zusammen geboren." Friedmans Theorie sage uns nichts darüber, wie dies geschah. Sie lehre uns, dass die Zeit einen Anfang hatte und, möglicherweise – im endlich expandierenden Kosmos – auch ein Ende hat.

Man sieht, wie in diesen Argumentationen – bei Hawking wird dies deutlicher – erkenntnistheoretischer Fragestellungen und solche nach der objektiven Beschaffenheit der Welt engstens miteinander verwoben sind. Bei Černin könnte man fragen: Wenn Friedmans Theorie nichts über das Zustandekommen des Urknalls sagen kann (was der Fall ist), warum soll dann darauf verzichtet werden, nach einer anderen Theorie zu suchen, die dies leistet? Tatsächlich versuchen ja auch die Astrophysiker, eine Antwort auf die Frage „Wie und warum entstehen Kosmen?" zu finden.

Darauf, wie Hawking, Černin u. a. sich mit diesem Problem auseinandersetzen, wird noch eingegangen. Zunächst ist erst einmal darzustellen, welches Bild die heutige Astrophysik von der *kosmischen Evolution seit dem Urknall* entwirft.

1.2 Vom Urknall zum Menschen – Szenarium der kosmischen Evolution

Wenn im folgenden die *kosmische Evolution,* wie sie sich aus der Sicht der heutigen Kosmologie vollzogen hat, skizziert wird, so kann mit dieser Darstellung weder eine vollständige noch eine in allen Teilen gesicherte Beschreibung der realen Prozesse gegeben werden. Die Kosmologie befindet sich derzeit, trotz der beachtlichen Erklärungsleistungen ihrer neuen theoretischen Ansätze, speziell bei der Lösung vieler Probleme der Standardmodelle[11] und der entstandenen engen Wechselwirkung mit

10 A. D. Černin, Fizičeskaja koneepcija vremeni ot Newtons do našich dnej, in: Priroda, 8/1987, S. 32.

11 „Das Standardmodell beginnt seine Beschreibung, dem Stand der Elementarteilchenphysik der 60er Jahre entsprechend, bei Dichten, die etwa der Kerndichte von Atomen von 10^{14} m

allen Bereichen der Physik, insbesondere der Elementarteilchenphysik, in einer Gärungsphase.

Krauss betont, dass die Kosmologie in vielem noch in den Kinderschuhen stecke, die Kosmologie über vergleichsweise wenig empirisches Material verfüge. Dramatische Veränderungen seien nicht ausgeschlossen, Standardkonzeptionen könnten sich als falsch erweisen.[12]

Dies alles wirft die Frage auf, was *philosophische Analyse* in Hinblick auf Erkenntnisse, die sich in statu nascendi[13] befinden, auszurichten vermag. Selbstverständlich kann sie nicht bestimmte Forschungs- oder Denkrichtungen favorisieren oder gar sanktionieren. Das widerspräche unserer Auffassung von der Wechselwirkung zwischen Philosophie und Einzelwissenschaften. Die philosophische Analyse kann aber ihren Beitrag zum besseren Verständnis der Erkenntnissituation leisten, indem sie erkenntnistheoretische und methodische Aspekte des Herangehens an die Probleme untersucht. So vermögen u. a. der Vergleich mit analogen Situationen in der Geschichte oder anderen Wissenschaftsdisziplinen, der Aufweis gleichartiger Argumentationsstrukturen oder Fragestellungen u. ä. zum Verstehen der analysierten Situation beizutragen, sie möglicherweise zu entschärfen oder auch Einseitiges und Kurzschlüssiges aufzudecken. Weiterhin hat die philosophische Untersuchung diejenigen Aspekte des Herangehens der Kosmologie an ihren Gegenstand, die von allgemeiner Bedeutung für das moderne Weltbild der Wissenschaften sind, herauszuarbeiten. Nicht zuletzt muss die Philosophie ihrer weltanschaulichen Funktion gerecht werden, Fehldeutungen und philosophische Kurzschlüsse zurückweisen.

Der reale Prozess der kosmischen Evolution verlief umgekehrt wie die Geschichte seiner Entdeckung. Während sich die kosmologische Erkenntnis zunächst über die Anwendung der Einsteinschen Gravitationstheorie, dann der Atom- und Kernphysik und schließlich der Elementarteilchenphysik immer mehr dem Startpunkt der Expansion nähert, beginnt der tatsächliche Vorgang natürlich mit diesem. Zugleich werden bei Annäherung an diesen Nullpunkt die Theorien immer weniger sicher, immer hypothetischer.

Großräumige Struktur und Veränderung des Kosmos sind im Modell des *Friedmanschen Expansionskosmos* auf der Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie beschrieben. Diese ist heute eine gut bestätigte, nahezu „klassische" Theorie – auch wenn es immer wieder Versuche gibt, sie durch eine alternative Gravitationstheorie zu ersetzen. (Vgl. III. 3) Das Modell setzt das so genannte *kosmologische Postulat* voraus, d. h. die Annahme von Homogenität und Isotropie des Kosmos. Die astronomi-

entsprechen." (U. Bleyer, Kosmologie der achtziger Jahre oder: Der Kosmos als Laboratorium der Elementarteilchenphysik, in: U. Bleyer/F. Gelhar, Kosmologie der achtziger Jahre, Berlin 1985, S. 7).

12 Vgl. L. M. Krauss, Dark Matter in the Universe, in: Scientific American. 6/1986, S. 59-60.

13 im Entstehen, im Werden begriffen.

schen Beobachtungen besagen, das die *Homogenität* oberhalb von Entfernungen von 1000 Mpc gilt.[14] Die großräumigsten Inhomogenitäten bestehen in der Verteilung von Galaxien und Galaxienhaufen und haben eine zellenartige Struktur.[15] Aus den Untersuchungen der Reliktstrahlung ergibt sich die hochgradige *Isotropie* unseres Kosmos. Die Expansion selbst ist mit Hubbles Befund über die Rotverschiebung des Lichts ferner Galaxien gesichert.

Weiter „in die Tiefe", d. h. in den Mikrokosmos, führen die Untersuchungen zur stofflichen Grundlage unseres Kosmos mittels Atom und Kernphysik. Sie erklären die atomare Evolution. Diese Prozesse beginnen bei etwa 1/100 Sekunde, Dichten von der Größe der Kerndichte, Temperatuten von 10^{11} K und gehen von einem Plasma von Photonen, Protonen, Neutrinos, Neutronen, Elektronen, Myonen usw. und deren Antiteilchen aus. Während der vor dem Einsetzen der atomaren Evolution stattfindende Prozess der Hadronensynthese noch hypothetisch und umstritten ist, wird der davor liegende Vorgang der Trennung von schwacher und elektromagnetischer Wechselwirkung von einer als gesichert geltenden Theorie beschrieben (Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung). Die vor den erwähnten Etappen der kosmischen Evolution liegenden Etappen der „Großen Vereinigung" und der Inflation finden ihre Begründung in den hypothetischen „Theorien der großen Vereinigung" (GUT).[16]

Indem die Astrophysik das Friedman-Modell mit dem Gamowschen „heißen Urknall", die hypothetischen Überlegungen der GUT und die noch hypothetischeren Vorstellungen zur Quantengravitation vereinigt, kann sie acht Epochen der kosmischen Evolution unterscheiden (vgl. *Abb. 9*; siehe S. 320).[17]

Für den gesamten Prozess der kosmischen Strukturierung und Differenzierung sind die mit der Expansion verbundenen Prozesse der Abkühlung und Dichteabnahme von entscheidender Bedeutung. Im Verlaufe der Abkühlung werden bestimmte kritische Energiewerte oder Schwellentemperaturen (s. Tabelle 2 in III. 3.4, S. 171) unterschritten. Dabei kommt es u. a. zur schrittweisen Abkopplung der. verschiedenen Wechselwirkungen.

I. Planck-Zeit (von 0 bis 10^{-43} s). Es wird vermutet, dass dieses Zeitintervall das Elementarquantum der Zeit darstellt. Andererseits wird diese Zeit mit der Quantengravitation und der Einheit Nichtunterscheidbarkeit) aller 4 Wechselwirkungen[18] in Verbindung gebracht.

II. *Epoche der „Großen Vereinigung"*. Sie beginnt bei 10^{-43} s und der Temperatur von 10^{32} K (= 10^{19} GeV). Die Gravitation existiert bereits als selbständige Wechselwirkung. Starke und schwache Wechselwirkung sind dagegen nicht unterscheidbar.

14 Vgl. I. D. Novikov, Evolution des Universums, Moskau – Leipzig 1986, S. 15.
15 Vgl. ebenda, S. 54 f.
16 Vgl. Ch. Spierling, Auf der Suche nach der Urkraft, Leipzig 1986, S. 98 ff.
17 Es gibt verschiedene Modifikationen dieser Etappisierung.
18 Amerikanische Forscher wollen eine fünfte Wechselwirkung entdeckt haben.

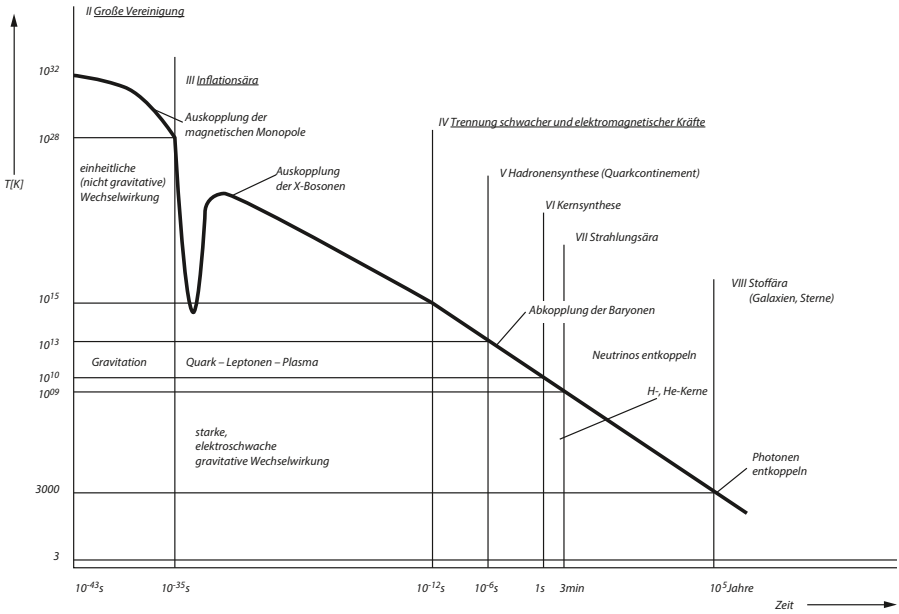

Abb. 9 Etappen der kosmischen Evolution

III. *Inflationsära*. In dieser bei 10^{-35} s einsetzenden Epoche werden charakteristische Eigenschaften unseres Kosmos herausgebildet: die Homogenität und Isotropie des Kosmos im großen, die Baryonenladung die Flachheit des Raumes usw.

Mit Unterschreiten der Temperatur von 10^{24} K (= 10^{15} GeV) bilden sich die superschweren Teilchen der vereinheitlichten Wechselwirkung nicht mehr. Sie müssen zerfallen. Der Zerfall erfolgt mit einer leichten Asymmetrie zugunsten der Teilchen gegenüber den Antiteilchen. Während Teilchen und Antiteilchen zu Photonen annihilieren, bleibt der kleine Überschuss an Teilchenmaterie erhalten – die Baryonenladung, die in unserer Epoche das Bild des Kosmos prägt.

Nach den GUT kann die Dichte des Vakuums bei sehr hohen Temperaturen riesig groß sein. Bleibt das Vakuum beim Unterschreiten der Zeit von 10^{-35} s in diesem Zustand hängen („falsches Vakuum"), dann übertrifft seine universelle Abstoßung (Antigravitation entsprechend dem Einsteinschen „kosmologischen Glied" in den Gravitationsgleichungen) die durch die reellen Teilchen und Antiteilchen bewirkte Gravitation bei weitem. Es kommt zu einer enorm verstärkten Expansion des Kosmos – der „*Inflation*".

Durch die Idee der Inflation werden einige Rätsel der Standardmodelle gelöst. So das Horizontproblem, das darin besteht, dass der Kosmos im großen homogen und isotrop ist, aber die Gleichartigkeit für Gebiete, die füreinander hinter dem Horizont liegen, somit miteinander nicht wechselwirken können, unverständlich

erscheint. Durch die Inflation „werden Punkte, die vor dem inflationären Stadium sehr nahe beieinander innerhalb des gemeinsamen Horizonts lagen, so dass zwischen ihnen ein Signalaustausch möglich war, infolge der heftigen Ausdehnung auf riesige Abstände gebracht."[19]

Während der Inflation kühlt sich der Kosmos stark ab. Da der Zustand des falschen Vakuums instabil ist, gehe das Vakuum bald in seinen „wahren Zustand" über. Durch die damit verbundene ungeheure Energiefreisetzung wird die kosmische Materie wieder aufgeheizt. Nach Schätzungen könnte die Inflation die Abstände im Kosmos auf das 10^{45}fache vergrößern. Anschließend setzt sich die Expansion gemäß dem Friedman-Modell fort.

IV. *Epoche der Aufspaltung der elektroschwachen Wechselwirkung.* Sie beginnt mit Unterscheiten der Energieschwelle von 10^{15} K (10^2 GeV). Schwache und elektromagnetische existieren fortan als selbständige Wechselwirkungen.

V. *Epoche der Hadronensynthese.* Es erfolgt die „Gefangennahme der Quarks"[20], die ab nun nur noch im gebundenen Zustand (confinement) auftreten. Diese Epoche beendet die erste Sekunde der kosmischen Evolution. Nach ihr ist die Temperatur so tief gesunken, dass die Synthese von Kernen leichter Elemente einsetzen kann.

VI. *Epoche der primordialen Kernsynthese.* In Fusionsprozessen entstehen neben sehr geringen Mengen von Helium-III, Deuterium und Lithium in den Reaktionen[21]

$$p + n \rightarrow D + \gamma \qquad D + D \begin{cases} \rightarrow D + D \\ \rightarrow {}^3\mathrm{He} + n \end{cases}$$

$$^3\mathrm{He} + n \rightarrow T + P \qquad T + D \rightarrow {}^4\mathrm{He} + n$$

innerhalb der ersten 3 bis 5 Minuten. Zu Beginn dieser Epoche entstehen Elektronen und Positronen. Der verbleibende Überschuss an Elektronen liefert die Hüllenelektronen für die Atome.

VII. *Strahlungsära*. Die Photonen sind noch energiereich genug, um die Anlagerung der Elektronen an die Kerne für lange Zeit – 10^5 ... 10^6 Jahre – zu verhindern. Noch ist die stoffliche Materie nur eine geringfügige Beimischung zum strahlungsdominierten Kosmos. Die Ursache dafür, dass der Strahlungskosmos dem Stoffkosmos Platz macht, besteht darin, dass die Strahlungsdichte schneller sinkt als die der stofflichen Materie; sie fällt mit der 4. Potenz eines die Expansion charakterisierenden Abstands R, während die stoffliche Komponente mit R^3 fällt.

VIII. *Stoffära.* Zugleich mit dem Übergang zur Stoffdominanz sinkt die Temperatur unter 4000 K, die Rekombinationstemperatur wird erreicht. Die Elektronen können sich an die Kerne anlagern; es entsteht neutrales Gas. Die Strahlung beendet die Wechselwirkung mit dem Plasma; sie koppelt ab. Der Kosmos wird „durchsichtig".

19 I. D. Novikov, Evolution des Universums, a. a. O., S. 220 f.
20 Ausdruck von Hans Jörg Fahr, in: Das aufgeblasene Universum, in: bild der wissenschaft, 7/1984, S. 82.
21 Vgl. J. B. Zel'dovič/D. Novikov, Strojenie i evoljucii vselennoj, Moskva 1975, S. 137.

Im Stoffkosmos kommt es nunmehr über Gravitationsinstabilitäten und -kollapse zur Bildung von Galaxien und Galaxiehaufen. In den Galaxien bilden sich Sterne. In den Sternen und bei Sternexplosionen setzt sich die atomare Evolution fort. In Kernfusionsprozessen, die den Sternen die nötige Repulsionsenergie liefern, werden weitere chemische Elemente synthetisiert. Diese werden durch den „Sternenwind", vor allem aber durch Sternexplosionen, bei denen zugleich schwere Elemente entstehen, in den interstellaren Raum transportiert. Es bilden sich interstellare Wolken aus primordialem Gas und den durch die Sterne produzierten Elemente. Es beginnt die molekulare Evolution und die Staubbildung. Aus den so entstandenen Gas- und Staubwolken bilden sich durch gravitativen Kollaps Sterne einer neuen Generation, die nunmehr wegen ihres Anteils an schwereren Elementen auch von Planeten umgeben sein können. So entsteht auch unsere Erde. Die auf dieser sich herausbildenden Lebewesen produzieren eine Sauerstoffatmosphäre, die eine wesentliche Voraussetzung für höheres Leben, darunter Menschen, ist (siehe *Abb. 10*; siehe S. 323)[22].

Im Rahmen der kosmischen Evolution sind also die Entstehung der Elementarteilchen, die Herausbildung der chemischen Elemente, die Bildung der kosmischen Strukturen wie der Galaxien, Galaxienhaufen und deren Verteilung („Wabenstruktur", siehe *Abb. 11*; siehe S. 324)[23], die Sternenbildung und -evolution, das Entstehen und die Evolution von Planetensystemen gesetzmäßig miteinander verbunden und schaffen die Voraussetzung für eine geologische Evolution, das Reich der Lebewesen, das Entstehen des Menschen und der gesellschaftlichen Entwicklung. So gibt die *evolutionäre Kosmologie* einen *globalen einzelwissenschaftlichen Rahmen* für die Einordnung der verschiedensten *Entwicklungsprozesse.* Damit leistet sie einen gewichtigen Beitrag zu dem sich immer deutlicher konturierenden *einheitlichen evolutionären Weltbild der Wissenschaften.* Darüber hinaus bereichert die Kosmologie unser Verständnis für die Mechanismen von Selbstorganisation und Evolution, vertieft bisherige Einsichten und alte Fragestellungen.

1.3 Dialektik von Anfang und Ewigkeit

Zu diesen gehört die eingangs gestellte Frage nach dem Anfang.

Mit der Urknalltheorie wird die Expansion nicht erklärt; sie wird vielmehr von dieser als Anfangsbedingung genommen.[24] Woher kommt diese Anfangsbedingung? Die Antworten auf diese Frage sind sehr unterschiedlich. I. Novikov schreibt, dass es für den Astrophysiker zweckmäßig sei, „die Zeitrechnung in dem Moment zu beginnen, in dem die Materiedichte formal unendlich groß war. Man wählt die-

22 A. Unsöld, Kosmische Evolution, in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 1/1975, S. 4.
23 L. D. Novikov, Evolution des Universums, a. a. O., S. 171.
24 J. B. Zel'dovič, Počemu rasširjaetja vselennaja?, in: Prošloe i buduščee vselenoj, Moskva 1986, S. 38 ff.

Mrd. Jahre		
6	← Sonne → Roter Riesenstern; Ozeane kochen	
5		
4	?	
3		
2	?	
1	ca. 10000 Jahre: Kultur — Jetzt	
0	ca. 3 Mio. Jahre: Menschen	
	↖ Trennung von Europa und Amerika	
- 1	↖ Kambrium	
- 2	← O_2-Atmosphäre	
- 3		
	↙ erste Lebewesen	
- 4	← O_2-Atmosphäre	
- 5	← Entstehung von Erde und Mond Planetensystem	} heftiges Meteoriten-bombardement
- 6		
- 7		
• •	Entstehung der schweren Elemente in Sternen und Sternexplosionen	
• • • • •		
- 16		
- 17	Entstehung der Galaxien Strahlungskosmos entkoppelt → 2,7 K-Strahlung	
- 18	H, He Beginn der Expansion	

Abb. 10: Evolution von Kosmos und Erde nach Unsöld

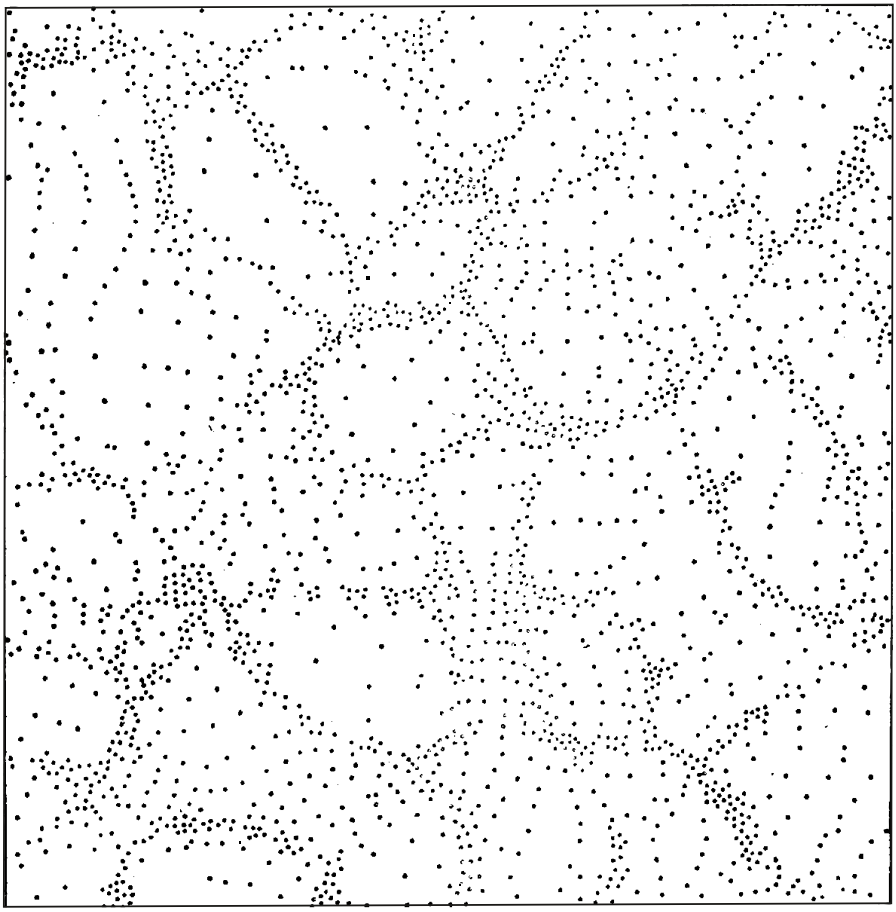

Abb. 11: „Waben" oder „Plinsenstruktur" der Verteilung der Galaxienhaufen nach einer numerischen Modellierung

sen Moment also als Nullpunkt der Zeit. Natürlich bedeutet diese Vereinbarung noch in keiner Weise, daß bis zu diesem Zeitpunkt ‚überhaupt nichts gewesen ist', ebenso wie die Zeitrechnung von Mitternacht an nicht bedeutet, daß kein gestriger Tag existiert, obgleich wir nicht konkret wissen, was während dieses Gestern des Universums geschah."[25] An anderer Stelle weist er darauf hin, dass die Entwicklung der Elementarteilchentheorie in den letzten Jahren zu dem Schluss führt, dass die Vorgeschichte der Expansion sich als wichtig erweist.[26] Dagegen finden wir in einem

25 I. D. Novikov, Evolution des Universums; a. a. O., S. 128.
26 Ebenda, S. 119

von ihm und D.-E. Liebscher verfassten Artikel den Hinweis, dass für die Mehrheit der Spezialisten der Expansion keine Kontraktion voranging und dass die Frage „Was war davor?“ möglicherweise sinnlos sei.[27]

Im Gegensatz hierzu betont O. Rozental' mit Verweis auf neue Ideen zur Entstehung von Metagalaxien die Unrichtigkeit der Behauptung, das Weltall entstände zum Zeitpunkt Null und die Frage nach dem *Davor* sei sinnlos.[28] Wie bereits erwähnt, gehört St. Hawking zu denen, die annehmen, dass die Zeit mit dem Start der Expansion beginne. Er entwickelt den angeführten Gedankengang weiter, indem er vom Quantencharakter der Prozesse in der Nähe der Singularität ausgeht[29]: *1.* Indem die Gesetze der Quantenphysik gültig werden, gilt Heisenbergs Unbestimmtheitsbeziehung. Diese bedeute, dass die Singularitäten der gravitativen Expansion oder des Kollapses „verschmiert“ sind; eine unendliche (physikalisch unsinnige) Dichte gäbe es nicht. Das Singularitätsproblem wird somit entscheidend entschärft. *2.* postuliert Hawking: „Die Randbedingung besteht darin, daß es keinen Rand gibt“. Er schlägt vor, das Weltall als völlig geschlossen (self-contained) anzunehmen, d. h. die Raum-Zeit als eine 4-dimensionale, in sich geschlossene „Fläche“ zu betrachten. Diese hätte dann für ihre Beschreibung keine Angabe von Randbedingungen nötig. *3.* Wären die Grenzbedingungen derart, dass es keine Grenzen gäbe, dann könnte für die sehr frühe Periode des Kosmos der Begriff der Zeit nicht mehr gut definiert sein. Nach dem „vor dem big bang“ zu fragen wäre vergleichbar mit der Frage, was „1 km nördlich vom Nordpol“ sei.

Es gibt auch Versuche, den Beginn der Expansion als Schöpfungsakt zu interpretieren. So erklärt P. Jordan, die Radioantennen, die die 3K-Strahlung empfangen, hörten den „Urknall des Weltbeginns“.[30]

1.3.1 Zur Frage der Weltanfänge

Nicht die Anerkennung von Weltanfängen, sondern deren Deutung unterscheidet die philosophischen Positionen. Bereits die antiken Materialisten kennen eine Vielzahl von Welten in Raum und Zeit. Später sieht G. Bruno unzählige Welten (Erden oder Sonnensysteme) im ewigen, räumlich unendlichen All entstehen und vergehen.[31] In neuerer Zeit vertreten Boltzmann, Smoluchowski u. a. in der Diskussion um den II. Hauptsatz der Thermodynamik den Standpunkt, dass Kosmen (Boltzmann: „Ein-

27 Vgl. E. Liebscher/I. D. Novikov, Der Fluß der Zeit, in: Prošloe i buduščee vselennoj, a. a. O., S. 112/13.
28 Vgl. I. I. Rozental', Geometrija, dinamika, vselennaja, Moskva 1987, S. 42.
29 Vgl. St. Hawking. The edge of spacetime, a. a. O., S. 13 f.
30 Zitiert nach H. Hörz/H-.J. Treder, Neue naturwissenschaftliche Erkenntnisse über den Kosmos in weltanschaulicher Sicht, Einheit 5/1977, S. 607.
31 Vgl. G. Bruno, Zwiegespräche vom unendlichen All und den Welten, Jena 1904.

zelwelten") riesige Fluktuationen im Universum sind: Eine Welt entsteht und vergeht als geringwahrscheinlicher Zustand für „dasselbe kleine aus dem Universum isolierte Gebiet", während sich das Universum insgesamt im Zustand des thermodynamischen Gleichgewichts befindet.[32]

Im Rahmen *materialistischer Konzeptionen* gibt es also durchaus die Konzeption der „Weltanfänge" (und „Weltuntergänge"). Charakteristisch für sie ist, dass die „Welt" nicht mit dem „All", der gesamten materiellen Welt gleichgesetzt wird. Somit könnte man sie als „relative Weltanfänge" bezeichnen. Diese Vorstellungen beruhen auf dem Grundsatz der Nichtdurchbrechung des materiellen Zusammenhangs,[33] der Unzerstörbarkeit und Unerschaffbarkeit der Materie. Anders ist es bei *idealistischen Deutungen* von Weltanfängen. Sie sind in der Regel mit der Idee der Schöpfung verbunden. Dabei muss der Akt der Welterschaffung nicht einmalig sein; er kann durchaus in Zyklenkonzeptionen vielfacher Weltschöpfungen und -zerstörungen eingeordnet sein. Andererseits ist Idealismus nicht an die Idee des zeitlichen Anfangs der Welt gebunden. In Aristoteles' System, das in vielem materialistisch, in seiner Endkonsequenz aber idealistisch ist, existiert die materielle Welt ewig. Ihre Bewegung und die Veränderung im sublunaren Bereich werden in letzter Instanz durch den „Ersten Beweger" (Gott) bewirkt.

Für viele materialistisch eingestellte Betrachter oder Forscher erscheint das Modell des *oszillierenden Kosmos* unter dem Gesichtspunkt der zeitlichen Unendlichkeit der materiellen Welt befriedigender als das des ewig expandierenden Kosmos. Der Anfang der Singularität verliert seine Einmaligkeit und damit Ungewöhnlichkeit. Aber auch, wenn sich die Vorstellung vom oszillierenden Kosmos als richtig erweisen würde, so wäre mit ihr das Problem der Ewigkeit dieses Kosmos nicht gelöst.[34] Novikov verweist darauf, dass in einem ständig oszillierenden Kosmos sehr wahrscheinlich mit jedem Zyklus die Entropie um einen endlichen Betrag wachsen würde; Amplitude und Dauer der Zyklen würden zunehmen. Da diese Überlegung davon ausgeht, dass bereits unendlich viele Zyklen in der Vergangenheit absolviert sind, stehen ihre Konsequenzen unseren Beobachtungen und ihr selbst entgegen. Es gäbe uns nicht, denn die Entropie des Kosmos wäre bereits unendlich groß – er wäre dem Wärmetod erlegen.

1.3.2 Singularität und Erkennbarkeit

Bei der Zurückweisung der Frage nach dem *Davor* des Urknalls geht Hawking davon aus, dass in der Singularität die prognostische Fähigkeit der Wissenschaft gebrochen wird. Man findet oft die Überlegung, dass zur Zeit des Urknalls die kosmische Materie derart „verkocht" wurde, dass keine Spuren von einer früheren Zeit erhalten geblieben sein können. Derartige Argumentationen lassen sich durch prinzipielle physikalische

32 L. Boltzmann, Vorlesungen über Gastheorie, II. Teil, Graz-Wiesbaden 1981, S. 257.
33 Vgl. H. Hörz, Die Unendlichkeit der Materie, in: DZFPh, 12/1961, S. 1502-1521.
34 Vgl. I. D. Novikov, Evolution des Universums, a. a. O., S. 195.

Erwägungen relativieren.[35] Der *absolute Horizont des Urknallmodells* ist durch die formale Annahme einer *unendlichen Dichte* der kosmischen Materie zum Zeitpunkt Null bestimmt. Signale (Teilchen) aus der Zeit davor könnten diese Materie nicht durchdringen. Wenn die Dichte jedoch nicht unendlich ist, sind grundsätzlich Teilchen denkbar, die gut dichte Materie durchdringen können. Für sie würde ein Horizont nicht existieren. Diese Überlegung ist vom Typ „im Prinzip ja ...". Für die uns bekannten Teilchen wie Photonen, Neutrinos usw. war der Kosmos in der Nähe des Nullpunkts nicht transparent.

Somit noch einmal die Frage: Gibt es keine Spuren aus der Zeit „vor Null"? Es könnte sich erweisen, dass gerade eine der prägenden Eigenschaften unseres Kosmos, deren Herkunft zu den großen Rätseln der heutigen Kosmologie gehört, eine derartige und zudem sehr „große Spur" ist, die Expansion selbst. Gegenwärtig ist die Astrophysik dabei, die *Herkunft der Expansion* nicht als ein Dilemma für die kosmologische Erkenntnis, sondern als eine Chance anzusehen.

Argumentcharakter hat im betrachteten Zusammenhang auch der Verweis auf die *Historizität der Erkenntnis.* Vor etwa hundert Jahren befand sich die Astronomie hinsichtlich des Kantschen Urnebels in einer ähnlichen Situation wie wir gegenüber dem Urknall. Im „Anti-Dühring" schrieb F. Engels: Wenn „in der heutigen Wissenschaft der Kantsche Nebelball als Urnebel bezeichnet wird, so ist dies selbstredend nur beziehungsweise zu verstehn. Urnebel ist er, einerseits, als Ursprung der bestehenden Weltkörper und andererseits als die frühste Form der Materie, auf die wir bis jetzt zurückgehn können."[36] Heute sind die „Urnebel" längst nicht mehr Urnebel im zweiten von Engels genannten Sinn. Was die „frühste Form der Materie, auf die wir bis jetzt zurückgehen können", betrifft, so führt uns die moderne Astronomie mehrere Epochen hinter die „Urnebel" zurück. Deren Natur ist aufgeklärt; sie stellen kosmische Staub- und Gaswolken dar, das Ausgangsmaterial für die Bildung von Sternen und Planetensystemen. Teilweise stammen ihre Bestandteile aus den Überresten explodierter Sterne früherer Generationen oder aus dem „Sternenwind". Ein Großteil des Wasserstoffs und des Heliums jedoch rührt aus der Ära der primordialen Kernsynthese in den ersten Minuten der kosmischen Expansion her.

Angesichts des Erkenntnisfortschritts „*vom Urnebel zum Urknall*" wird die Berechtigung des Optimismus von Engels, der im Urnebel nur eine relative Erkenntnisgrenze sah, deutlich. Neue Erkenntnismittel lassen die Forschung in bislang unerschließbare Bereiche der Realität vorstoßen. Bisherige Grenzen für die Erkenntnis werden als Beginn einer neuen Etappe im objektiven Prozess der kosmischen Evolution, vor der andere Prozesse stattfanden, erkannt.[37]

35 Vgl. ebenda, S. 108/109.
36 F. Engels, Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft („Anti-Dühring"), in: MEW, Bd. 20, S. 53.
37 Vgl. H. Hörz, Materiestruktur, Berlin 1971, S. 363. Ders.: Die Idee des Universums, in: DZfPh, S. 844.

1.3.3 Zum Problem des Zeitanfangs

Als attraktive Lösung des Singularitätsproblems erscheint manchem der Ansatz, dass mit dem *Expansionsbeginn zugleich* die *Zeit entstanden* ist, bzw. der Standpunkt, dass über eine Zeit vor der Expansion nachzudenken sinnlos sei. Eine Variante der Argumentation besteht in der Überlegung, dass der Zeitpunkt Null eigentlich als ∞ anzusehen sei. Da es keine absolute, von den materiellen Prozessen losgelöste Zeit gibt, die Aufeinanderfolge der Ereignisse in der Nähe der Singularität sich zunehmend verdichtet, könnte man annehmen, dass seit der Singularität unendlich viele, aufeinander folgende Ereignisse stattgefunden haben. Misst man jedem Abstand zwischen zwei zeitlich benachbarten Ereignissen ein endliches Zeitintervall zu, dann wäre seit der Singularität eine unendliche Zeit verflossen.

Heute sind die Vorstellungen von einer absoluten Zeit und dem überall gleichen, unveränderlichen Zeitfluss überwunden. Die Analyse der ungewöhnlichen Zeiteigenschaften der Schwarzen Löcher wird zur weiteren Präzisierung der physikalischen und philosophischen Zeiteigenschaften führen.[38] Andererseits gehört zu den durch die Relativitätstheorie formulierten Zeitvorstellungen, dass jeder Prozess oder jedes physikalische Objekt seine Eigenzeit hat. So ist eine Voraussetzung für die Beschreibung der geometrischen Eigenschaften des kosmischen Raums im großen die Existenz einer *kosmologischen Zeit*.[39] Die Expansion als substantieller Rahmenprozess der Evolution in unserem Kosmos (oder der Metagalaxis) ist zumindest ein ebenso gutes Bezugssystem für die Zeitrechnung wie die Aufeinanderfolge von Prozessen in diesem Kosmos.

Das Relativitätsprinzip bzw. das Invariantenkonzept haben uns gelehrt, dass Eigenschaften, die vom Wechsel des Bezugssystems nicht unabhängig sind, nicht fundamental sein können. In ähnliche Richtung zielt die Überlegung von Rozental', dass die Nichtexistenz der Translationssymmetrie der (kosmischen) Zeit (die vorläge, wenn die Singularität eine fundamentale und universelle Bedeutung für die physikalische Zeit hätte), zur Durchbrechung der Universalität der physikalischen Gesetze führen würde.[40]

Interessant ist der Hinweis von Hawking, den er beim Vergleich der Singularitäten von Urknall und Schwarzem Loch macht: Der Effekt der Quantenverdampfung der Schwarzen Löcher zeige, dass der Gravitationskollaps nicht zum völligen Ende der Zeit führen müsse.[41] Dieser Hinweis steht gegen die These, dass es sinnlos sei, über die Zeit vor dem Urknall nachzudenken. Im übrigen ist der Vergleich der Frage nach dem *Davor* mit der nach einem „nördlich vom Nordpol" unklar bzw. unberechtigt. In einer geschlossenen Raum-Zeit ist auch die Zeit für sich geschlossen. Das Bild

38 Vgl. D.-E. Liebscher/I. D. Novikov, Der Fluß der Zeit, a. a. O.
39 Vgl. I. D. Novikov, Evolution des Universums, a. a. O., S. 98.
40 Vgl. I. L. Rozental', Geometrija, dinamika, Vselennaja, a. a. O., S. 40 f.
41 Vgl. St. Hawking, The edge of spacetime, a. a. O., S. 14.

müsste also so aussehen: Wohin gelangt man, wenn man den Nordpol überquert? Natürlich zu Breitengraden, die südlich vom Nordpol liegen. Černin, der die gleiche Argumentation wie Hawking vorträgt, widerlegt sich letztlich selbst, wenn er die Idee der Entstehung unseres Kosmos durch Quantenfluktuation befürwortet.[42] Mit ihr lautet nämlich die Antwort: Davor war das *Vakuum.*

1.3.4 Weltentstehung aus dem Nichts?

Für einige Astrophysiker ist der Gedanke faszinierend, dass das „Universum buchstäblich aus dem Nichts entstanden" ist.[43] Für den einen mag das ernst, für andere als eine intellektuelle Spielerei mit Worten, vielleicht auch als Frotzelei der Philosophen gemeint sein. Die nur noch von wenigen Naturwissenschaftlern, wohl aber von idealistischen Philosophen häufig gehegte Hoffnung, Beweismaterial für Schöpfungsideen in die Hand zu bekommen, beruht auf einem Missverständnis der physikalischen Sachlage.

Cerepaščuk verweist im Vorwort zu „Vergangenheit und Zukunft des Weltalls" auf die Ausführungen von Zel'dovič, dass es keinerlei Erhaltungssätze gäbe, welche die *Quantenerzeugung des Weltalls „aus Nichts"* verbieten würden.[44] Auch bei Zel'dovič und Guth/Steinhardt steht „aus Nichts" in Anführungszeichen. Zel'dovič begründet die Formulierung mit zwei Überlegungen: 1. Die Gesamtenergie eines geschlossenen Kosmos ist gleich Null. Es ist 2. möglich, dass ein Kosmos bei seiner Entstehung ladungssymmetrisch sei. Eigenschaften wie die Baryonenladung konnten sich erst später herausbilden.[45] Bekanntlich übt ein geschlossener Kosmos nach „außen" keine Wirkungen aus. Für einen Beobachter, der nicht zu diesem Kosmos gehört, existiert er praktisch nicht. Dennoch kann er z. B. aus vielen Millionen Galaxien bestehen.

Nach *früheren Vorstellungen* ist das *Vakuum das Nichts* oder der materiefreie Raum. In diesem Sinne wird „Vakuum" noch landläufig benutzt. In der heutigen Physik dagegen ist das Vakuum keineswegs das Nichts. In der *Quantenfeldtheorie* stellt es den *energetischen Grundzustand* eines physikalischen Systems dar. In ihm spielen sich physikalisch beschreibbare Prozesse ab. Es hat Wechselwirkungen mit Feldern; z. B. „unterliegt das Vakuum, wie jede andere Form der Materie, der Gravitationswirkung"[46]. Nach den bisherigen Kenntnissen hat das Vakuum eine äußerst geringe Energiedichte. Prinzipiell wäre es möglich, dass diese Null ist. Gemäß den – noch hypothetischen – Theorien,

42 D. Černin, Fizčeskaja koncepcija vremeni ot Nevtona do našich dnej, a. a. O., S. 35.
43 A. H. Guth/P. J. Steinhard, Das inflationäre Universum, in: Spektrum der Wissenschaft, 7 184, S. 94.
44 Vgl. Prošloe i buduščee vselennoj, a. a. O., S. 7.
45 Vgl. J. B. Zel'dovič, Sovremennaja kosmologi ja, in: Prošloe i buduščee vselenoj, a. a. O., S. 32. Analog die Argumentation bei Guth und Steinhardt, Anm. 42.
46 I. L Rozental', Geometrija, dinamika, Vselennaja, a. a. O., S. 131.

denen zufolge Bosonen und Fermionen supersymmetrische Teilchen sind, haben die Energien von Bosonenvakuum und Fermionenvakuum ein anderes Vorzeichen. Die Gesamtenergie kann sich also in Null verwandeln.[47] Diese Null repräsentiert somit physikalische Realität. Philosophisch gilt der Spruch der alten Materialisten: „Ex nihilo nihil fit."[48] Würde sich das Konzept der Quantengeburt von Kosmen als richtig erweisen, dann wäre das Problem der kosmologischen Singularität zumindest keine Frage mehr, die scharfe philosophische Auseinandersetzungen provoziert.

1.4 Quantengeburt des Kosmos – neue physikalische Ideen zum Entstehen von Welten

„Zur Zeit wird die Theorie der spontanen Entstehung des Kosmos ausgearbeitet. Nur eine kosmologische Theorie, deren Untersuchung den Prozeß der Entstehung einschließt, kann als vollständige Theorie angesehen werden."[49] Angesichts der oben diskutierten Standpunkte und Probleme müssen diese Anfang 1984 von Zel'dovič formulierten Sätze erstaunlich klingen. Was hat die Situation so grundlegend geändert, dass Kosmologen sich heute derart selbstbewusst äußern können? Sind wir Zeuge der Geburt einer neuen fundamentalen Theorie, oder ergibt sich der Zugang zu einem Verständnis der Entstehung des Kosmos aus den etablierten Theorien? Es zeigt sich, dass sich die Frage nach dem Charakter der Theorie, die uns diese Aufklärung möglicherweise verschaffen wird, nicht ohne weiteres in die formulierte Alternative einfügt.

Wie De Witt hervorhebt,[50] sind die Bedingungen, unter denen die für die Quantenfeldtheorie der Gravitation charakteristischen raum-zeitlichen Maßstäbe (Planck-Zeit und Länge) untersucht werden müssen, außerordentlich phantastisch. Ein Elementarteilchenbeschleuniger, der entsprechende Experimente auf heutiger technologischer Grundlage ermöglichte, müsste die Ausmaße unserer Galaxis haben. Dadurch komme in diese Theorie ein für die Physik ungewöhnlich hoher Grad an Spekulativem hinein. Andererseits scheine diese Theorie ihrem Wesen nach geradezu konservativ zu sein. Sie soll sich nämlich aus der Vereinigung von spezieller Relativitätstheorie, Einsteinscher Gravitationstheorie und Quantenmechanik ergeben. Diese *Quantentheorie der Gravitation* befindet sich noch im statu nascendi. Auf viele Fragen gibt es noch keine Antworten; bei manchen von ihnen weiß man nicht einmal, wie man sie richtig formulieren soll.[51] Dennoch hat der neue theoretische Ansatz bereits zu Ergebnissen geführt, die große Hoffnungen erwecken. Zel'dovič spricht deshalb davon, dass sich die Konturen einer vollständigen kosmologischen Theorie heute schon abzeichnen.[52]

47 Vgl. ebenda.
48 Aus dem Nichts entsteht nichts.
49 J. B. Zel'dovič, Počemu rasširjaetsja vselennaja?, a. a. O., S. 42.
50 B. S. De Witt, Quantum Gravity, in: Scientific American, 6/1983, S. 104.
51 Vgl. ebenda, S. 112.
52 I. B. Zel'dovič, Pocemu rasširjaetsja vselennaja?, a. a. O., S. 42.

Erstmalig ist die Idee der spontanen Erzeugung von Kosmen infolge von Quantenfluktuationen des Vakuums 1973 unabhängig voneinander durch Fomin und Tryon ausgesprochen worden. Die Konzeption der inflationären Expansion, die auf einer modernen Handhabung des Einsteinschen kosmologischen Terms (negative Gravitation) beruht, führt zur Weiterentwicklung dieser Idee und verhilft ihr zur höheren Effektivität.

Worin bestehen die Grundgedanken der *Konzeption der Quantengravitation und -geburt des Kosmos*?[53] Nach der Quantenfeldkonzeption ist die Welt ein angeregter Zustand der Quantenfelder. Der energetische Grundzustand eines Quantenfeldes ist das Vakuum; durch die Anregung entstehen Elementarteilchen, die sich bewegen, wechselwirken und in großer Vielfalt auftreten. Grund dafür, dass es zur Erzeugung der Teilchen keiner äußeren Quelle der Anregung bedarf, ist der Umstand, dass es neben dem Vakuum auch eine Vielzahl entarteter Zustände mit Teilchen gibt, die ebenfalls energetisch niedrigsten Zustände darstellen. Sie können geschlossene Welten (GW), wie sie die allgemeine Relativitätstheorie voraussagt und begründet, darstellen; Welten mit positiver Eigenmasse oder -energie, die in der Gesamtenergie durch die negative Energie der Gravitation zu Null kompensiert wird. Zugleich wird die elektrische Gesamtladung mit Null angesetzt. Somit ist unter Berücksichtigung der Gravitation der niedrigste energetische Zustand der Quantenfelder gewährleistet.

Es ergibt sich das Bild einer unendlichen Zahl von GW, die topologisch dem Raum des „reinen" Vakuums angeschlossen sind. Die Gesamtwelt – das Weltall – befindet sich im Zustand der vollständigen Nullenergie und Nulladung; „lokal", d. h. innerhalb jeder GW, existiert ein „nichttrivialer materieller" Inhalt. In einigen dieser Welten kann Leben und können „Beobachter" (vernunftbegabtes Leben, das schließlich Kosmologie betreibt) entstehen. Eine GW kann über Quantentunnelübergänge „Tochterwelten" erzeugen.[54]

Sind für die allgemein-relativistische Kosmologie die GW *eine Möglichkeit*, deren Existenz prinzipiell durch Beobachtungen überprüft werden kann, so führt die Quantenfeldkosmologie *notwendig* zu GW und verlangt deshalb die Suche nach jenen „verborgenen" Massen, die die reale mittlere Massendichte unseres Kosmos über kritisch machen.[55]

Für makroskopische GW ist die Wahrscheinlichkeit äußerst klein. Mit den Modellen der inflationären Expansion ist eine Erklärung für eine Frühphase des schnellen

53 Vgl. P. I. Fomin, Gravitacionnaja neustojčivost' vakuuma i kvantovoe rozédnie vselennoj, in: Problemy teoretičeskoj fiziki, Kiev 1986, S. 285-292. Vgl. auch: J. B. Zel'dovič, Polnye kosmologičeskie teorii, in: J. B. Zel'dovič, Izbranye trudy. Časticy, jadra, vselennaja, Moskva 1985, S. 179-191 (gemeinsam mit L. P. Griščuk).

54 Vgl. P. I. Fomin, Gravitacionnaja neustojčivost vakuuma ... a. a. O., S. 287.

55 Vgl. auch L. M. Krauss, Dark Matter in the Universe, a. a. O.; J. B; Zel'dovič, rasširjaetsja vselennaja?, a. a. O.

Wachstums der Ausmaße und der Eigenmasse einer GW gefunden worden. Somit führt die Vereinigung von allgemeiner Relativitätstheorie und Quantenfeldtheorie zu einem physikalischen Konzept, das eine natürliche Antwort auf die Frage nach dem Entstehen der Welten zu geben verspricht. Das Problem der Singularität entsteht in dieser Kosmologie nicht.

Diese Forschungsrichtung ist eines von vielen Beispielen der gegenwärtigen stürmischen Entwicklung innerhalb der Kosmologie. Aus der Fülle der von uns hier nicht behandelten Ideen sei lediglich auf die Konzepte der chaotischen Inflation[56], der vieldimensionalen Räume und ihrer Kompaktifizierung[57], der Superstrings[58] und der fraktalen Dimension[59] verwiesen. Die erstaunliche Entwicklung der Kosmologie hat eine Flut von neuen theoretischen Möglichkeiten zur Lösung ihrer Probleme gebracht, ja geradezu zu einer Inflation von Ideen geführt. Einerseits gibt es großartige Erfolge in den Erklärungsleistungen neuartiger Ansätze und andererseits existieren weiterhin viele Unklarheiten – bis hin zu Verunsicherungen bezüglich der richtigen Fragestellungen. Deshalb also ist es nicht verwunderlich, wenn auch die Kosmologen selbst zu sehr unterschiedlichen Einschätzungen über die Tragweite ihrer gegenwärtigen Erkenntnisse kommen.

1.5 Selbstorganisation und Evolution

Zumindest von gleicher Bedeutung wie die Frage nach der Herkunft unseres Kosmos ist für die Ausgestaltung des modernen Weltbildes der Wissenschaften der *evolutionäre Aspekt der Kosmologie*. Sowohl die Überlegungen im Rahmen der Friedman-Modelle als auch die kosmologischen Deutungen der Frühphasenprozesse unter Hinzuziehung der Elementarteilchenphysik haben uns auf eine Vielzahl von *Mechanismen der Herausbildung kosmischer Strukturen* geführt.

Alt und in der Geschichte heiß umstritten ist die Frage des Entstehens oder der Selbstorganisation auf der Grundlage physikalischer Gesetzmäßigkeiten. So geht es im 17. und 18. Jahrhundert darum, ob sich das Entstehen kosmischer Strukturen *mechanisch* erklären lässt. Dies ist zu jener Zeit von fundamentaler Bedeutung hinsichtlich des Verständnisses einer selbstkonsistenten Welt. Denn „mechanisch“ steht für die naturwissenschaftliche Erklärung.

56 Vgl. A. D. Linde, The Universe: inflation out of chaos, in: New Scientist v. 7.3.1985, S. 14-18; ders., Ot redaktora, in:I. L. Rozental', Geometrija, dinamika, Vselennaja, S. 135 ff.
57 Vgl. I. L. Rozental', Geometrija, dinamika, Vselenhaja, a. a. O., S. 131 ff.; D. Z. Freedman/P. van Nieuwenhuizen, The Hidden Dimension of Spacetime, in: Scientific American, 3/1985, S. 62-69; N. S. De Witt, Quantum Gravity, a. a. O., S. 113 ff.
58 Vgl. M. B. Green, Superstrings, in: Scientific American, 3/1986, S. 44-56.
59 B. Mandelbrot, Die fraktale Geometrie, Berlin 1987.

Newton z. B. glaubt, dass sich die kosmische Physik im Prinzip[60] auf die Himmelsmechanik zu beschränken habe, die Herausbildung der kosmischen Strukturen wie auch die Gewährleistung ihrer Stabilität wäre dagegen das Werk Gottes. Kant dagegen zeigt, dass man sich mittels des Descartesschen Wirbelmechanismus sowie des von Newton charakterisierten Wechselspiels von anziehenden und abstoßenden Kräften sehr wohl die Herausbildung des gesamten Weltgebäudes aus einem chaotischen Ausgangszustand der kosmischen Materie („Urnebel") vorstellen kann. Als wirksamen Mechanismus kennt man weiterhin die Abkühlung kosmischer Körper, die z. B. zur Gesteinsbildung oder zu anderen Formen der Ausdifferenzierung von Strukturen führt. Die physikalische Kosmogonie des ausgehenden 19. Jahrhunderts verfügt bereits über ein reichhaltiges Arsenal erkannter Strukturbildungsmechanismen: Attraktion und Repulsion, Gravitationsinstabilitäten, kosmische Wirbel, Rotationen und Rotationsinstabilitäten, Gezeitenwirkungen, das Verlassen stationärer Zustände infolge von Störungen, die Ausdifferenzierung bei Abkühlung. Am Beispiel der Rotationsinstabilität ist man bereits auf Verzweigungen (Poincaré: „Bifurkationen") gestoßen.

Viele dieser in den vergangenen Jahrhunderten erarbeiteten Ideen zu Entstehungsmechanismen sind in die heutigen kosmogonischen Hypothesen und Theorien eingebaut und werden in ihnen in höherer Qualität wirksam. Die Forschungen der letzten Jahre haben dieses reiche Arsenal geradezu sprungartig mit *modernen Vorstellungen* erweitert: kosmologische Quanteneffekte, Entropiefluktuationen, Symmetriebrüche und Phasenübergänge, das Ausfrieren von Teilchen und Wechselwirkungen, inflationäre Expansion infolge der Antigravitation des Vakuums usw.

Es ist festzustellen, dass sich auch in dem erwähnten Kontext das Bild der Physik irreversibel verändert hat. Kann noch vor vierzig Jahren E. Schrödinger sagen, dass die Vorstellung von einer in der Natur waltenden Ordnung, die sich selbst erhält und Neues hervorzubringen vermag, dem Physiker fremd sei, dass er derartiges noch nie beobachtet habe,[61] so wird heute die Untersuchung von *Selbstorganisation und Evolution* immer mehr zu einer Grundrichtung physikalischer Forschung. Neben der Selbstorganisationsforschung hat vor allem die moderne Kosmologie hierzu beigetragen.

Selbstverständlich tauchen dabei auch neue Probleme oder alte Probleme in neuem Gewand auf. Eines von ihnen ist das des Verhältnisses von Selbstorganisation und Evolution, auf das bereits eingegangen wurde (vgl. III. 5). Dabei ist schon auf Aristoteles' Herangehen an das Problem hingewiesen worden: Es muss umfassende (globale) Bedingungen oder Prozesse geben, die die einzelnen Selbstorganisationsakte in eine

60 Vgl. F. Gelhar, Newton und die Kosmogonie. Festkolloquium aus Anlaß der Emeritierung von Frau Prof. sc. phil. Dorothea Goetz, in: Schriften zur Traditionspflege der PH Potsdam, 1986, S. 46-56.
61 Vgl. E. Schrödinger, Was ist Leben?, München 1946, S. 110.

evolutive Ordnung bringen. Mit der kosmischen Expansion haben wir geradezu ein Musterbeispiel für einen die Evolution konstituierenden Prozess vor uns. Insoweit verfügen wir über eine Lösung einer sehr alten Fragestellung.

Allerdings ist diese Lösung nur eine teilweise. In gewissem Sinne verschärft sie das Problem sogar noch. Außer der bereits betrachteten Frage nach der *Herkunft der Expansion* geschieht dies vor allem durch die Frage nach der *Zukunft des Kosmos*. Dieses Problem soll hier noch einmal unter dem Gesichtspunkt des Zyklizitätsansatzes und unter dem Aspekt der Strukturreserven der kosmischen Evolution diskutiert werden.

Es ist bekannt, dass F. Engels zu den Anhängern der Konzeption großer kosmischer Kreisläufe zählt, auch wenn er an einer Stelle diese mit einem kleinen Fragezeichen versieht. Es sei „ein ewiger Kreislauf, in dem die Materie sich bewegt, ein Kreislauf, der seine Bahn wohl erst in Zeiträumen vollendet, für die unser Erdenjahr kein ausreichender Maßstab mehr ist", schreibt er in der „Dialektik der Natur".[62] Indem er von dem Gedanken der qualitativen Unzerstörbarkeit der Materie ausgeht, betont er, dass die Materie „daher auch mit derselben eisernen Notwendigkeit, womit sie auf der Erde ihre höchste Blüte, den denkenden Geist, wieder ausrotten wird, ihn anderswo und in andrer Zeit wieder erzeugen muß."[63]

In der Einleitung zum „Anti-Dühring" polemisierte Engels mit den Vorstellungen von der Bewegung der Natur in engen Kreisläufen der Existenz ewiger Weltkörper, hebt die Geschichtlichkeit der Natur hervor und stellt den Gedanken heraus, dass „die Weltkörper wie die Artungen der Organismen, von denen sie unter günstigen Umständen bewohnt werden, entstehn und vergehen, und die Kreisläufe, *soweit sie überhaupt zulässig sind*, unendlich großartigere Dimensionen annehmen".[64]

Wie ist es zu verstehen, dass der materielle Prozess mit derselben eisernen Notwendigkeit, mit der er das einmal entstandene Leben wieder ausrottet, es anderswo und irgendwann wieder erzeugen muss? Wird mit dem „anderswo und in anderer Zeit" nicht die Notwendigkeit auf den Zufall heruntergebracht? Engels legt sich hier nicht fest, weil die naturwissenschaftlichen Kenntnisse seiner Zeit dies noch nicht erlauben. Eine Denkmöglichkeit für die Wiederholbarkeit von Prozessen besteht jedoch in der Idee großräumiger Kreisläufe, die die Kreisläufe niedrigerer Ordnung regulieren.

Derartige Vorstellungen von einer *Hierarchie der Kreisläufe* sind vom empirischen Befund her gar nicht von der Hand zu weisen. Den Bewegungen im Planetensystem, die dem Rhythmus der Jahreszeiten zugrunde liegen, sind länger andauernde im Planetensystem und außerhalb desselben überlagert. Es sei an das Platonische Jahr (Dauer der Präzession der Erdachse von etwa 26000 Jahren) oder das galaktische

62 Engels, Dialektik der Natur, in: MEGA, Erste Abteilung, 26. Band, a. a. O., S. 315.
63 Ebenda, S. 316.
64 Fr. Engels, Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft („Anti-Dühring"), in: MEW, Bd. 20, a. a. O., S. 24.

Jahr (Umlauf der Sonne um das galaktische Zentrum innerhalb von etwa 250 Mio. Jahren) erinnert. Im Zusammenhang mit Erklärungsversuchen der Eiszeit oder zu den tiefen Einschnitten in der Erdgeschichte werden derartige Rhythmen wieder intensiv diskutiert. Der sowjetische Klimatologe Sinizin hat z. B. eine Klassifikation klimatologischer Rhythmen mit fünf Hierarchie-Ebenen, vom Rhythmus der Jahreszeiten bis zu dem des galaktischen Jahres, entworfen.[65]

Wie wir aus der physikalischen Argumentation von Novikov ersehen konnten, fügt sich der Kosmos im Rahmen der Expansionsmodelle allerdings zunächst nicht in diesen Gedanken der Hierarchie oder zumindest der ständigen Wiederkehr zyklischer Prozesse ein. Ein ewig oszillierender Kosmos scheint nicht möglich zu sein.[66] Zur Zeit sind zwei grundlegende andere Möglichkeiten für die *ferne Zukunft unseres Kosmos* bekannt. Die eine ergibt sich aus der bereits besprochenen Hypothese der Erzeugung von Kosmen aus *Vakuumfluktuationen*. Dies wäre eine moderne Version der physikalischen Realisierung der von Engels angesprochenen Kreisläufe mit „unendlich großartigeren Dimensionen". Durch die 1986 von Fomin gegebene Variante dieser Konzeption wird das recht unsympathische Bild zurückgedrängt, dass das Weltall das im „Dornröschenschlaf" liegende Vakuum ist, welches unmerklich um seinen energetischen Grundzustand fluktuiert und nur nach unvorstellbar langen Zeiten geschlossene Kosmen hervorbringt, die nach einer endlichen Dauer wieder vergehen. Durch die Vorstellung von „Mutter-" und „Tochter-Welten" und den Hinweis darauf, dass es das „reine" Vakuum gar nicht geben muss,[67] bekommt diese Variante, wie Fomin hervorhebt, einen „dynamischen Charakter und Sinn".

Als andere grundlegende Denkmöglichkeit bietet sich die Idee der in der Ewigkeit verlaufenden *Expansion* an. Seit der Arbeit von F. Syson zur „Physik und Biologie im offenen Kosmos" von 1979[68] sind Modelluntersuchungen zur Zukunft eines unbegrenzt expandierenden Kosmos verstärkt durchgeführt worden. Auch sie stützen sich auf die Eichfeldtheorien und -hypothesen der Elementarteilchenphysik und auf einige neue Erkenntnisse der Astrophysik. Diese hypothetischen und noch sehr spekulativen Modelle zeichnen einen Kosmos der fernen Zukunft, der gewiss nicht weniger exotisch ist als der der Frühphase der Expansion. Gemäß diesen Szenarien, die in mehreren Modifikationen ausgearbeitet sind,[69] werden die Sterne einst verlöschen, das stellare

65 Vgl. R. K. Balandin, Naturkatastrophen. Der Pulsschlag der Naturgewalten, Leipzig 1984, S. 118.
66 Vgl. auch P. C. W. Davies, Inflation and time asymmetrie in die Universe, in: Nature vom 3.2.1983, S. 398-400; F. J. Tipler, General relativity, thermodynamics, and the Poincaré cycle, in: Nature vom 19.7.1979, S. 203-205.
67 Vgl. P. I. Fomin, Gravitacionnaja neustojčivost' vakuuma i kvantovoe rozdenie vselennoj, a. a. O.
68 Vgl. F. J. Dyson, Time wihout end: Physics and biology in an open universe, in: Reviews of Modern Physics, 3/1979, S. 447-460.
69 Siehe z. B. D. A. Dicus/J. R. Letwa D. C. TeplitzV/L. Teplitz, The Future of the Universe, in: Scientific American, 3/1983, S. 74-83; R. Breuer, Vom Ende der Welt, in: bild der wissenschaft, 1/1981, S. 46-55.

Zeitalter wird nach 10^{14} Jahren beendet sein. Die Galaxien werden sich auflösen, 90% ihrer Sterne werden in den Raum verstreut, der Rest stürzt in die Schwarzen Löcher ihrer Zentren. Das Galaxienzeitalter findet nach 10^{19} Jahren sein Ende. Da das Proton gemäß den Eichfeldtheorien der Großen Vereinigung nach 10^{32} ... 10^{33} Jahren zerfällt, löst sich nach diesem Zeitraum die Kernmaterie völlig auf. Kernmaterie – Planeten, Sterne, kosmische Staub- und Molekülwolken – wird sich dann vollständig in Photonen und Neutrinos verwandelt haben. Nach etwa 10^{100} Jahren werden die Schwarzen Löcher verdampft sein. Es gibt wieder einen strahlungsdominierten Kosmos, der von einem Elektron-Positron-Plasma-Kosmos abgelöst wird usf.

Obgleich die Prozesse in jenem fernen Kosmos für uns immer fremdartiger und immer langsamer ablaufen, werden sie jedoch nie aufhören. Ein Ergebnis der Untersuchungen ist, dass es für einen expandierenden Kosmos immer irgendwelche Prozesse gibt. Felder bedeuten, dass die für Strukturierungsprozesse notwendigen Energiegefälle bestehen; die Expansion repräsentiert sogar ein veränderliches Gravitationsfeld. Sie verhindert den Wärmetod.[70]

Freilich wäre damit die Frage, zu deren Beantwortung Dyson seine Untersuchungen unternommen hat, noch nicht geklärt. Für lebende und denkende Materie unserer Organisation wäre in jenem Kosmos nämlich kein Platz. Engels' „anderswo und in andrer Zeit" müsste in einem *anderen* Kosmos stattfinden.

Berührt, aber noch nicht detailliert behandelt, wurde ein anderer Aspekt der kosmischen Evolution. *Strukturierung* bedeutet *Entropieexport* oder *Import arbeitsfähiger Energie.* Woher nimmt unser Kosmos die letztere? Oder anders – welches sind die Strukturreserven der kosmischen Evolution?

1.6 Die Strukturreserven der kosmischen Evolution – zur Thermodynamik des expandierenden Kosmos

Es wurde bereits an verschiedenen Stellen deutlich, dass thermodynamische Aspekte in der kosmischen Evolution eine entscheidende Rolle spielen. Die Expansion, die aus einem superheißen Zustand der kosmischen Materie startet, ist mit einem Abkühlungsprozess verbunden. Beim Unterschreiten bestimmter Temperaturen oder Energieschwellen erfolgt nach den Vereinigungstheorien (GUT) das Abkoppeln (oder die Verselbständigung) bestimmter Wechselwirkungstypen, verbunden mit Symmetriebrüchen. Es sei an den ungewöhnlichen Temperaturverlauf in der inflationären Phase erinnert. Er ist mit wichtigen Veränderungen in den Entropieverhältnissen von Teilchengas und Gravitationsfeld verbunden.[71] Die Entropie unseres Kosmos wird durch das Verhältnis von Reliktphotonen zu Baryonenladung charakterisiert.

70 Vgl. R. Breuer, Vom Ende der Welt, a. a. O., S. 49; F. J. Dyson, Time without end; a. a. O., S. 453.
71 Vgl. P. Davies, Inflation and time asymmetrie in the Universe, a. a. O., S. 399.

Bereits S. Eddington verbindet 1931 die von ihm und Jeans intensiv propagierte Behauptung vom Wärmetod des Kosmos mit dem Gedanken von der Verwandlung aller stofflichen Materie in eine Gleichgewichtsstrahlung. Letztlich geht die thermodynamische Betrachtungsweise in der Kosmologie auf die Formulierung der *Wärmetodhypothese* durch Clausius, Kelvin und Helmholtz und die um sie geführten Diskussionen zurück. Engels fordert in dieser Auseinandersetzung die Physik auf, nach den Gesetzen der Wiedergewinnung oder erneuter Konzentration von zerstreuter (dissipierter) Energie zu suchen.

Teilweise ist diese Engelssche Aufgabenstellung heute durch die Ergebnisse der Kosmogonie und Selbstorganisationsforschung bereits gelöst. Genauer gesagt, es ist zur Zeit eine Frage der Bewertung dieser Resultate und unserer Interpretation der Engelsschen Forderung, inwieweit man sie als abgearbeitet betrachten kann. In der modernen Kosmogonie ist längst das Bild verschwunden, nach dem von den Sternen ausgestrahlte Energie und verstreuter Stoff sich völlig in der Leere der kosmischen Welten verlieren. Der aus dem Sternwind und aus Sternexplosionen stammende Stoff sammelt sich im interstellaren Raum in Gestalt von kosmischem Staub- und Gaswolken und wird durch die von den Sternen ausgehende Strahlung aufgeheizt. Diese Wolken werden zu Geburtsstätten neuer Sterngenerationen, sind also Voraussetzungen von kosmischen Strukturbildungsprozessen. Mit dem Verweis auf derartige Prozesse ist allerdings die Gesamtproblematik noch nicht vom Tisch. So landet ein großer Teil der ausgestrahlten Energie auf der kosmischen „Schutthalde" der Reliktstrahlung. Einige Zusammenhänge werden deutlicher, wenn man sie unter dem Gesichtspunkt aktueller thermodynamischer Überlegungen zur Selbstorganisation und Evolution des Kosmos betrachtet.[72]

Auf den ersten Blick könnte die kosmologische Theorie vom expandierenden Kosmos unter thermodynamischen Gesichtspunkten als paradox erscheinen. Am Anfang soll das „Urchaos" der kosmischen Materie herrschen; es wird kein „außen" für den Kosmos angenommen, aus dem ihm Ordnung zugeführt werden könnte. Dennoch strukturiert sich dieses Chaos und bringt die heutige Ordnung mit dem vernunftbegabten Leben hervor. Woher nimmt der Kosmos die „*Strukturreserven*?" (Ebeling), *um aus dem Chaos die Evolution zu starten*?

Das Problem ist nicht schlechthin das der Energie, sondern das der arbeitsfähigen oder freien Energie, der „Exergie". Die *Exergie* ist das Gegenstück zur Entropie, die das Maß für die dissipierte Energie stellt. Die Exergie für die kosmische Evolution stammt aus der „Urknallenergie", die dem Kosmos „in die Wiege gelegt" wurde (davon war bereits die Rede). Wenn auch zu Beginn der Expansion das Teilchengas sich im thermischen Gleichgewicht befand, so doch der Kosmos nicht insgesamt. In bezug auf das Gravitationsfeld oder die Raum-Zeit startete er aus einer extremen

72 Vgl. W. Ebeling, Thermodynamics of selforganization and evolution, in: Biomed. Biochim. Acta, 6/1985, S. 831-838.

Nichtgleichgewichtssituation, die sich gerade in der *Expansion* äußert. Ist auch der *Rahmenmechanismus* gegeben, über den die Energie, mit der der Kosmos zu Beginn „aufgeladen" ist, in Differenzierung und Strukturbildung umgesetzt wird. Hier sind nun die charakteristischen Relaxationszeiten für bestimmte Prozesse ausschlaggebend. Die Expansion und die mit ihr verbundene Abkühlung stellen eigentlich einen Prozess dar, in dem die Exergie abgebaut, dissipiert wird. Hätten Expansion und Abkühlung jeweils das Tempo, das den sie begleitenden Prozessen gestatten würde, von einem thermischen Gleichgewichtszustand in den anderen überzugehen, dann würde die Exergie radikal vernichtet werden. Die strukturelle Vielfalt unseres Kosmos mit ihrer relativen Stabilität gäbe es nicht.

Betrachten wir z. B. den Prozess der Kernbildung.[73] Bevor er einsetzt, sind die Prozesse der gegenseitigen Verwandlung von Protonen und Neutronen ineinander im thermischen Gleichgewicht:

$$p + v \rightarrow n+e \qquad p+e \rightarrow n+v$$

Das Neutron besitzt aber eine größere Ruhemasse als das Proton. Die Differenz beträgt 1,3 MeV. Fällt die mittlere Massenenergie der Teilchen unter die des Neutrons, kann es in Teilchenzusammenstößen nicht mehr entstehen. Es zerfällt gemäß den angegebenen Formeln. Wäre die Expansion schneller verlaufen, hätten sich die Teilchenkonzentrationen entsprechend schneller verringert. Die Kernsynthese hätte ab einem bestimmten Tempo nicht stattfinden können. Eine zu langsame Expansion dagegen hätte dazu geführt, dass die Kernbildung im Gleichgewicht erfolgt wäre, „es hätten sich die energiearmen Kerne gebildet: Eisen-56 mit einer Bindungsenergie von 8,1 MeV pro Nukleon. Sie würden heute energielos den Kosmos füllen."[74] Da die Kernsynthese innerhalb der durchschnittlichen Zerfallszeit der Neutronen (etwa 15 min) erfolgte – während der berühmten „ersten drei Minuten" –, blieb ein Teil der Neutronen erhalten (sie sind in den Kernen stabil). Nach Modellrechnungen enthalten die bei der primordialen Kernsynthese in der ersten Stunde der kosmischen Expansion entstandenen Helium-4-Kerne 87% der für die kosmischen Strukturbildungsprozesse zur Verfügung stehenden Exergievorräte. Diese Exergie wird z. B. in den Kernfusionsprozessen der Sterne freigesetzt. Ein Teil derjenigen Exergie, die von der Sonne ausgeht, ist in den fossilen Brennstoffen gespeichert, die der Mensch in „Energiegewinnungsprozessen" nutzt.

Insgesamt gibt es in der kosmischen Evolution *drei* grundlegende *Prozesse* der Abspeicherung oder des „*Einfrierens*" *von Exergie*: 1. die primordiale Kernsynthese, 2. die gravitative Zusammenballung von kosmischem Stoff zu den uns bekannten astronomischen Objekten wie Sternen, Planeten, Staub- und Gaswolken, Galaxien usw., 3. schließlich könnte ein Teil der Exergie in den Protonen selbst stecken, falls

73 Vgl. K.-E. Erikson /S. K. Islam, Der erste Tag. Wie die Energie entstand, in: bild der wissenschaft, 2/1983, S. 112-120.
74 Ebenda, S. 118.

diese, wie nach den GUT angenommen werden muss, instabil sind (wobei ihre Zerfallszeit größer als 10^{32} s sein müsste!).

In letzter Zeit wird zunehmend die Analogie zwischen der Situation der Schwarzen Löcher mit der unseres Kosmos im Beginn der Expansion untersucht. Die ungewöhnlichen thermodynamischen Eigenschaften der Schwarzen Löcher erwecken das wachsende Interesse der Astrophysiker und der physikalischen Grundlagenforschung insgesamt. Dabei wird auch auf die Möglichkeit aufmerksam gemacht, dass die Schwarzen Löcher als Exergiequelle dienen könnten.

An thermodynamischen Betrachtungen zur kosmischen Evolution wie den hier skizzierten, wird derzeit intensiv gearbeitet. Sie werden nach verschiedenen Richtungen hin weiter ausgebaut. Dabei interessiert man sich seit den 70er Jahren verstärkt für das ferne Schicksal des Kosmos und des vernunftbegabten Lebens in ihm. Eine dieser Forschungsrichtungen ist die von F. Dyson und anderen verfolgte Untersuchung der möglichen Prozesse in einem ewig expandierenden Kosmos. Obwohl Dyson zu Beginn seiner Arbeit sagt, er hoffe, dass die Eschatologie als Lehre vom Ende des Universums bald eine exakte naturwissenschaftliche Disziplin sein werde und damit nicht mehr der Zuständigkeit der Theologen überlassen bleibe,[75] geht es ihm in Wirklichkeit um die Frage der Ewigkeit der Vernunft im Kosmos. Daher erörtert er die Frage, wie die Informationsstrukturen der einen kosmischen Epoche auf die folgende übertragen werden können. Er spart nicht einmal die Überlegung aus, dass vernunftbegabte Existenz einst die Rolle des Maxwellschen Dämons im Kosmos übernehmen könnte.

Obwohl die Ergebnisse der meisten astronomischen Beobachtungen nicht weitgehend für einen ständig expandierenden Kosmos sprechen, festigt sich auf Grund einiger Beobachtungen (Galaxiendynamik), vor allem aber aus prinzipiellen theoretischen Überlegungen heraus (Überlegungen zur Quantengeburt von Welten) bei vielen Astrophysikern die Überzeugung von einem *endlichen Kosmos* mit einer *endlichen Existenzdauer*.

In den *weltanschaulichen* Diskussionen muss heute nicht entschieden werden, welche der naturwissenschaftlich möglichen Hypothesen der Wahrheit am nächsten kommt. Hervorzuheben ist vor allem, dass sowohl die Fragen des Aufbrauchs der Exergievorräte wie auch der Perspektiven irdischer und möglicherweise anderer Zivilisationen im Prozess der kosmischen Evolution Zeiträume von vielen Milliarden Jahren betrifft. Sie lassen weder eine Vermengung mit apokalyptischen Visionen zu, noch erlauben sie irgendwelche Verbindungen zu gegenwärtig existierenden Krisensituationen.

2. Physikochemische Evolutionsprozesse

Unter dem Begriff der chemischen Evolution wird eine Vielzahl sehr verschiedener Prozesse zusammengefasst. Der Bogen spannt sich dabei von der Entstehung der chemischen Elemente (atomare Evolution), d. h. der Genese der chemischen Bewegungsform

75 Vgl. F. Dyson, Time without end, a. a. O., S. 447.

der Materie, über die Synthese einfacher anorganischer und organischer Moleküle bis hin zur so genannten präbiotischen Evolution, d. h. der Herausbildung und Entwicklung molekularer Systeme mit den für das Leben charakteristischen Eigenschaften.

Die *chemische Evolution* ist somit integraler Bestandteil sowohl *kosmischer Evolutionsprozesse* als auch der *Geoevolution*. Dementsprechend werden die Untersuchungen zur chemischen Evolution sehr stark von den Erkenntnisfortschritten auf diesen Gebieten beeinflusst, zugleich wirken ihre Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf die diesbezüglichen Forschungen zurück. So bilden z. B. einerseits die aus astrophysikalischen Beobachtungsdaten ermittelte Häufigkeit und Verteilung der chemischen Elemente im Universum ein wichtiges Kriterium bei der Beurteilung verschiedener Modelle der kosmischen Evolution. Andererseits nutzt man die im Universum beobachtete Isotopenverteilung und ihre Erklärung im Rahmen der Theorien zur Entstehung der chemischen Elemente sowie Erkenntnisse über radioaktive Zerfallsreihen zur Altersbestimmung von Gesteinen und zur Suche nach ersten Lebensspuren mittels Analyse z. B. der Kohlenstoffisotopenzusammensetzung.

Im weiteren werden in diesem Abschnitt vor allem physikochemische Evolutionsprozesse der Entstehung der chemischen Elemente und die Herausbildung des molekularen Strukturniveaus, sowie Möglichkeiten der Entstehung komplexerer chemischer Strukturen unter kosmischen Bedingungen diskutiert. Die Beziehungen zwischen chemischer und Geoevolution vor allem im Hinblick auf allgemeine Voraussetzungen für Evolutionsprozesse, die zum Leben führten, und der Stand der theoretischen und experimentellen Forschungen zur präbiotischen Evolution werden in den nachfolgenden Abschnitten erörtert.

Viele Aussagen über die chemische Evolution unter kosmischen Bedingungen tragen noch *hypothetischen* Charakter. Dennoch vermitteln die vorliegenden naturwissenschaftlichen Erkenntnisse bereits einen instruktiven Einblick in die Dynamik der Evolutionsprozesse auf diesem Struktur- bzw. Entwicklungsniveau der Materie. Aus der Sicht der philosophischen Entwicklungstheorie sind dabei das Wechselspiel zwischen *Progression* und *Regression* als ein konstituierendes Moment für Entwicklung – wie es sich speziell in der gegenseitigen Bedingtheit der Prozesse, die zum *Auf- bzw. Abbau chemischer Strukturen* führen, zeigt – die *Verknüpfung verschiedener Zyklen und Entwicklungsebenen* sowie die *Einbettung kleinerer in größere Zyklen* von besonderem Interesse.

2.1 Entstehung der chemischen Elemente und Herausbildung des molekularen Strukturniveaus

Die *chemischen Elemente* sind weitgehend *Produkte von Kernreaktionen* in Sternen, Galaxien und der Frühstufen des Universums. Auf der Grundlage des gegenwärtig akzeptierten kosmologischen Modells sind Berechnungen angestellt worden, die gut mit der im Weltraum beobachteten Häufigkeitsverteilung der chemischen Elemente

und ihrer Isotope übereinstimmen. Dennoch darf nicht übersehen werden, dass es noch zahlreiche „Puzzle und Probleme (gibt), welche die grundlegenden Ideen zur Nukleosynthese in den Sternen in Frage stellen könnten."[76] Dazu gehört z. B., dass zur Zeit großangelegte Experimente im Gange sind, um alle Neutrinos, die bei der Umwandlung von vier Wasserstoffkernen in der Sonne in Helium-4e (so genannte pp-Kette) emittiert werden müssten, nachzuweisen.

Im Rahmen des Urknall-Modells lässt sich der Prozess der Entstehung der verschiedenen Elemente und der Herausbildung des nuklearen Strukturniveaus in eine Reihe von Phasen untergliedern.[77] (Vgl. *Tabelle 3*; siehe S. 342)

In einer *ersten Phase,* die insgesamt nur wenige Minuten nach dem Urknall andauert, werden unter den Bedingungen hoher Temperatur und Dichte des Universums Kerne von Wasserstoff und Helium-4 sowie geringe Mengen von Deuterium, Helium-3 und Lithium-7 gebildet. Den Ausgangspunkt bildet dabei die *Baryonensynthese* (*Quarkconfiniment*), wobei mit dem Proton zugleich der Kern des Wasserstoffs, also des ersten chemischen Elements, entsteht. Etwa 1 Sekunde nach dem Urknall – das Universum besteht zu diesem Zeitpunkt aus Protonen, Neutronen, Elektronen, Photonen und Neutrinos und besitzt eine Temperatur von ca. 1 Mio. Grad – werden mit fallender Temperatur *Kernsyntheseprozesse*, die zur Bildung der bereits genannten Kerne führen, dominant. Wichtige Belege für diese Auffassung bilden die Gesamtmenge des im Universum beobachteten Heliums sowie die Tatsache, dass Helium im Verhältnis zu Wasserstoff im gesamten Universum etwa in gleichen Mengenverhältnissen auftritt. Infolge der Stärke der Bindungskräfte in Helium-4 und der vergleichsweise geringen Stabilität der Kerne der Elemente Beryllium und Bor kann unter den Bedingungen schnell fallender Temperatur in diesem Stadium der kosmischen Evolution jedoch keine Synthese schwererer Kerne stattfinden.

Mit der weiteren Expansion und Abkühlung des Universums wird nach etwa 1 Mio. Jahren eine *zweite Phase* eingeleitet. Zunehmend treten elektromagnetische Bindungskräfte in Erscheinung, d. h. die Kerne treten mit den gleichfalls unmittelbar nach dem Urknall entstandenen Elektronen unter *Bildung neutraler Atome* in Wechselwirkung. Bei etwa 3000 Grad ist dieser Prozess im wesentlichen abgeschlossen. Zu diesem Zeitpunkt sind also im Universum Wasserstoff und Helium mit ihren stabilen Isotopen sowie etwas Lithium vorhanden. Außerdem reagieren Wasserstoffatome miteinander, und es bilden sich die *ersten Moleküle*, also molekularer Wasserstoff (H_2). Damit ist ein erster Schritt zur Herausbildung des molekularen Strukturniveaus vollzogen. Jedoch ist das Arsenal der atomaren Bausteine in diesem Stadium der Expansion des Universums zu begrenzt, um weitere Molekülbildungen zu ermöglichen.

76 W. A. Fowler, Experimentelle und theoretische Nucleare Astrophysik. Die Frage nach dem Ursprung der Elemente (Nivel-Vortrag), in: Angewandte Chemie 96/1984, S. 668.
77 Vgl. ebenda, H. Reeves, Woher nährt der Himmel seine Sterne, Basel – Boston – Stuttgart 1984.

Phase	Stadium der Evolution des Kosmos	Grundlegende Bedingungen	Mechanismus	Ergebnis bezüglich der chemischen Evolution
I	a) in der ersten Sekunde nach dem Urknall b) in der ersten Minute nach dem Urknall	Expansion fallende Temperatur	Quarkconfinement Kernfusion („Wasserstoff-brennen“)	Bildung von Protonen (Wasserstoffkernen), Neutronen, Elektronen Entstehung der Kerne von He-4, D, He-3 und Li-7
II	etwa 1 Mio. Jahre nach dem Urknall (Beginn)	Expansion, weiter fallende Temperatur	Elektromagnetische Wechselwirkung	Bildung von Wasserstoff, Helium in Lithium sowie erster Moleküle (H_2)
III	Evolution der Sterne	zunehmende (lokale) Kontraktion und steigende Temperatur	a) thermische Zerfallsreaktionen, Ionisation, Kernspaltung b) verschiedene Kernfusionsprozesse	Zerfall der gebildeten Elemente und Wasserstoffmoleküle in elementare Bausteine Entstehung von Kernen aller chemischer Elemente bis auf Be, B, Li
		Reaktionsprodukte der Nucleosynthesen werden (insbesondere in den Endstadien der Sternevolution) im interstellaren Raum verstreut.		
IV	Evolution interstellarer Staub- und Gaswolken	fallende Temperatur	Elektromagnetische Wechselwirkung, chemische Reaktionen	Bildung der chemischen Elemente und einfacher Moleküle
V		interstellarer Raum unter Einfluss hochenergetischer kosmischer Strahlung	Kernspaltung	Entstehung u. a. von Beryllium, Bor und Lithium

Tabelle 3: Phasen der Entstehung der chemischen Elemente und der Herausbildung des molekularen Strukturniveaus

So eröffnet erst die *Entstehung von Galaxien und Sternen* im Rahmen der weiteren Evolution des Kosmos, also eine *lokale Gegentendenz innerhalb der weiter andauernden Expansion* des Universums, der atomaren und in ihrem Gefolge auch der molekularen Evolution *neue Spielräume*. Zunächst führt dieser Kontraktionsprozess jedoch zu einer *Zerstörung des bereits erreichten Strukturniveaus*. Mit zunehmender Verdichtung der Masse und steigender Temperatur im Prozess der Sternentstehung lösen sich die Wasserstoffmoleküle und ebenso die Atome wieder in elementarere Bausteine auf. Schließlich erreicht die Temperatur bei etwa 10 Mio. Grad erneut einen Punkt, wo *Kernsynthesen* einsetzen. Damit beginnt eine *dritte Phase* der Elemententstehung.

Das anfangs bereits im Universum erreichte Strukturniveau (einige chemische Elemente, Wasserstoffmoleküle) wird wieder zerstört. Nunmehr kommt es lokal im Rahmen der Sternevolution zu neuen Bedingungen für die Herausbildung chemischer Elemente. Im Anschluss daran kann sich schließlich die chemische Bewegungsform der Materie voll entfalten. Die zeitweilige *Regression* in diesem *dialektisch widersprüchlich* verlaufenden Prozess ist also eine der direkten *Voraussetzungen der weiteren Progression* der chemischen Bewegungsform der Materie. Die Evolution überwindet so eine bezüglich der Entstehung und Entfaltung höherer Bewegungsformen der Materie im Rahmen der universellen Expansion des Kosmos vorhandene Grenze. Damit ergibt sich unter objektiv veränderten Bedingungen zugleich ein *neues Möglichkeitsfeld* für die weitere Entwicklung.

Der *Initialprozess*, mit dem die Kernsynthesen in den Sternen „gezündet" werden, ist erneut die *Fusion des Wasserstoffs*, d. h. das so genannte Wasserstoffbrennen. Im Unterschied zu den Kernsynthesen unmittelbar nach dem Urknall wird die Elementsynthese im Rahmen der Sternevolution jedoch über den zuvor erreichten Punkt hinausgetrieben. Dies resultiert insbesondere aus zwei im Vergleich zum „Urfeuer" grundlegend anderen Bedingungen. Zum einen steigt im *Wechselspiel von Kontraktion und Energieabstrahlung* die Temperatur im Innern des Sterns weiter an. Zum andern bildet sich im Rahmen dieses Wechselspiels ein über Millionen von Jahren *stabiler, stationärer Zustand* heraus. Dies eröffnet die Möglichkeit für *neue Kernsynthesen* wie die Fusion von drei Heliumkernen zu einem Kohlenstoffkern, ein Prozess, der wegen des notwendigen Dreierstoßes relativ selten ist, aber, einmal eingeleitet, seinerseits den Weg zu weiteren Kernsynthesen schwererer Elemente bahnt. Dies ist zugleich ein Beispiel dafür, welch wichtige *Rolle der Zeit* (*hier der Zeitdauer*) und der *Existenz stationärer Zustände* bei Evolutionsprozessen zukommt.

Im Zuge seiner weiteren Evolution kann der Stern zu einem so genannten Roten Riesen, in dessen Innern (räumlich geordnet) eine Vielzahl verschiedener Kernsynthesen gleichzeitig stattfinden, expandieren. Im Ergebnis dieser Synthesen werden *sämtliche schweren Kerne bis hin zum Uran-238* gebildet. Dabei lassen sich zwei verschiedene Stufen unterscheiden: Die Bildung der Kerne *bis* zur Ordnungszahl 56 des Periodensystems der Elemente, der so genannten Eisenspitze, ist mittels *energiefreisetzender* Kernreaktionen möglich. Die Erzeugung von noch schwereren Kernen bedarf einer *Energiezufuhr* und erfolgt über Prozesse des Neutroneneinfangs, wobei ein s- und

ein r-Prozess (von *slow* – langsam und *rapid* – schnell abgeleitet) unterschieden werden, und in einigen Fällen auch über Protoneneinfang. Während die Energie durch die anderen im Stern ablaufenden Kernreaktionen geliefert wird, ist die Quelle der Neutronen bzw. Protonen für diese Prozesse noch umstritten.

Mit der weiteren Evolution des Sterns wird schließlich bei einem Anstieg der Temperatur bis auf etwa *3 Mio. Grad* ein *kritischer Punkt* erreicht. Würde die thermische Energie sich noch weiter erhöhen, so würde dies zu einer Zerstörung der gebildeten schweren Kerne führen. Ein Prozess, der diese verhindert, ist der *Kollaps*, d. h. die extreme Verdichtung des Sterns infolge extrem hoher Energieabstrahlung mit nachfolgender Explosion. Dieser Vorgang entspricht einer *Supernova.* Es gibt Hinweise darauf, dass eventuell die Bildung schwerster Kerne direkt mit derartigen Supernovae-Explosionen verknüpft sein könnte. Weitere Wege, auf denen Produkte der in den Sternen abgelaufenen Kernsynthesen in den Weltraum gelangen, bilden die relativ häufigen Novae-Ausbrüche von Sternen, der Masseverlust der Roten Riesen in Verbindung mit ihrer Expansion und die Entstehung so genannter planetarer Nebel, wenn bei nicht so massereichen Roten Riesen die Kernsynthesen im Innern langsam erlöschen und ein Teil der bis dahin gebildeten Reaktionsprodukte sich im umliegenden Raum ausbreitet.

Interessanterweise finden sich im Rahmen der hier skizzierten Theorie der Elementarentstehung in Verbindung mit der Sternevolution auch *erste katalytische bzw. autokatalytische Prozesse.* So erfolgt in genügend massereichen Sternen eine durch Kohlenstoff-12 katalysierte Fusion von 4 Wasserstoffkernen zu Helium-4, was die Geschwindigkeit der Bildung von Helium wesentlich beschleunigt. Des weiteren forciert die Synthese schwererer Kerne in den Roten Riesen den Energieausstoß und verkürzt damit die Lebensdauer dieser Sterne. Andererseits fördert die Anwesenheit schwererer Elemente in interstellaren Wolken die Verdichtung des interstellaren Gases zu neuen Sternen. Nimmt man beide Prozesse zusammen, so ergibt sich eine autokatalytische Verstärkung, d. h. eine *Beschleunigung bzw. Verkürzung des Zyklus der Sternevolution*. Bezogen auf eine bestimmte Zeitspanne entsteht und vergeht eine größere Zahl von Sterngenerationen. Dementsprechend *größer* ist auch – bezogen auf diese Zeitspanne – die *Bildungsrate* bei der Synthese schwererer Kerne.

Die *Verteilung und relative Häufigkeit* der chemischen Elemente in verschiedenen Regionen des Kosmos und speziell in einzelnen Galaxien *hängt* also sehr stark *von den Evolutionsprozessen* in den Galaxien *ab.* Da sie über die Spektralanalyse einer direkten *astrophysikalischen Beobachtung* zugänglich ist, bilden die auf diesem Wege gewonnenen Daten ihrerseits zum einen eine wichtige Grundlage für die Erarbeitung von Modellvorstellungen über den Verlauf galaktischer Zyklen und den Prozess der Herausbildung von Sternpopulationen in den Galaxien. Zum anderen bilden sie ein wichtiges Kriterium für die Bewertung der diesbezüglich formulierten Hypothesen.[78]

78 Vgl. z. B. G. Gilmore/R. F. G. Wyse, The chemical evolution of the Galaxy, in: Nature, 6082/1986, S. 806 f.

Betrachtet man den Gesamtprozess der Sternevolution, so wird deutlich, dass sich im Vergleich zum „Urfeuer“ mit der Veränderung der Bedingungen nicht nur die Vielfalt der die atomare Evolution vorantreibenden Prozesse, also die Palette der möglichen Kernsynthesen vergrößert, sondern sich dabei auch *neue Evolutionsmechanismen* herausbilden. Besonders signifikant sind dafür die mit Kohlenstoff-12 verknüpften katalytischen Prozesse. Aber auch die Fusion von Heliumkernen zu einem Kohlenstoffkern (Dreierstoß) und die Bildung von Kernen, die schwererer Eisenkern sind (Übergang von energiefreisetzenden zu energieverbrauchenden Kernsynthesen), bilden derartige *qualitative Umschlagpunkte* innerhalb des Gesamtprozesses der Sternevolution bzw. der atomaren Evolution. Zugleich bewirkt die Herausbildung dieser neuen Mechanismen eine *Veränderung der Bedingungen*, unter denen sich die weitere Evolution vollzieht.

Mit der *Verstreuung der Reaktionsprodukte* der Kernsynthesen im Weltraum beginnt eine zur zweiten analoge *vierte Phase* bei der Entstehung der chemischen Elemente und der Herausbildung des molekularen Strukturniveaus. Mit zunehmender Abkühlung machen sich wieder elektromagnetische Wechselwirkungen geltend. Kerne und Elektronen treten zu *Atomen* zusammen und Atome reagieren miteinander unter Bildung von *Molekülen.* Im Ergebnis der Sternevolution sind jedoch nunmehr nicht nur fast alle Elemente, wie wir sie vom Periodensystem her kennen, und ihre Isotope – wenngleich in sehr unterschiedlicher Menge – vorhanden. Die weitaus größere Vielfalt an Atomarten verleiht diesem Gemisch zugleich eine erheblich größere Entwicklungspotenz in Richtung auf das molekulare Strukturniveau.

Bevor darauf näher eingegangen wird, soll noch auf eine *fünfte Phase* der Elementarentstehung verwiesen werden. Mit den Kernsyntheseprozessen in den Sternen lässt sich die *Bildung* der Kerne mit den Ordnungszahlen 3, 4 und 5, also der Elemente *Lithium, Beryllium und Bor*, nicht erklären, da diese Kerne unter den in den Sternen herrschenden Bedingungen nicht stabil genug sind. Andererseits mussten auch ursprüngliche Vorstellungen, nach denen diese Elemente unmittelbar nach dem Urknall gebildet worden sein sollten, fallen gelassen werden. Lediglich eine geringe Menge Lithium-7 entsteht bei diesen Prozessen. Quelle der Hauptmenge des im Universum vorhandenen Lithiums sowie der Bildung von Kernen der Elemente Bor und Beryllium ist nach heutiger Ansicht die Spaltung schwerer Kerne durch energiereiche kosmische Strahlung unter den Bedingungen des Weltraums. Dabei entsteht zugleich eine Reihe weiterer Isotope verschiedener chemischer Elemente.

Die Sternevolution und die Kernreaktionen bilden im Kosmos jedoch nicht die einzigen Möglichkeiten für die Entstehung chemischer Elemente. Der *Prozess der Elementsynthese* kann auch mittels Kernspaltung im naturgeschichtlichen Evolutionsprozess unter grundsätzlich anderen Bedingungen ablaufen. So gilt es heute als gesichert, dass über einen Zeitraum der *Geoevolution* von etwa 6×10^5 bis $1{,}5 \times 10^6$ Jahren hinweg, beginnend vor etwa $1{,}7 \times 10^9$ Jahren, in einem bestimmten Gebiet in Afrika an der Erdoberfläche bzw. in der oberen Gesteinsschicht der Erde Kernreaktionen abliefen. Der Nachweis gelang 1972 anhand von Anomalien in der Isotopenzusam-

mensetzung von Uranerzen, die in der heutigen Republik Gabun gefördert wurden. Nach dem Fundort wird diese Tatsache als *Oklo-Phänomen* bezeichnet.[79]

Bereits 1956 hatte P. K. Kuroda theoretische Bedingungen dafür abgeleitet, dass in einer bestimmten Phase der Geoevolution die Möglichkeit für das Auftreten natürlicher Kernreaktionen bestand. Wesentliche Voraussetzungen für das „Zünden" eines solchen natürlichen *Pre-Fermi-Reaktors* bildete bei dieser Ableitung eine bestimmte Konzentration von *freiem Sauerstoff in der Erdatmosphäre*. Dies setzt nach den vorliegenden Erkenntnissen über die Geoevolution, speziell die *Evolution der Atmosphäre*, jedoch seinerseits voraus, dass zuvor eine bestimmte *Entwicklungsstufe des Biotischen* erreicht worden sein musste, denn bekanntlich hängt die Anreicherung von freiem Sauerstoff in der Atmosphäre der Erde vom Energiestoffwechsel photosynthetisch lebender Organismen und ihrer zunehmenden *Dominanz in der Biosphäre* ab.

Im Ergebnis der Kernreaktionen im „Reaktor" von Oklo entstanden unter anderem einige radioaktive Isotope (z. B. Technetium ^{99}Tc, Promethium ^{147}Pm), von denen man bis zur Entdeckung des Oklo-Phänomens angenommen hatte, dass sie wegen ihrer geringen Halbwertzeit auf der Erde nicht in natürlichen Vorkommen existieren würden. Detaillierte Untersuchungen der bei Oklo geförderten Erze führten zum Nachweis von Spuren dieser Isotope, die – in Verbindung mit anderen Ergebnissen – die Existenz eines inzwischen ausgebrannten natürlichen Kernreaktors belegen.

Aus entwicklungstheoretischer Sicht ist an diesen Untersuchungen besonders interessant, dass *mit dem Auftreten und der Evolution höherer Bewegungsformen der Materie* durchaus *Bedingungen* entstehen können, die das *Möglichkeitsfeld für die Evolution niederer Bewegungsformen der Materie* erweitern. Folglich ist das Verhältnis zwischen niederen und höheren Bewegungsformen der Materie nicht nur dadurch gekennzeichnet, dass die niederen den höheren historisch-genetisch vorangehen und sich in den höheren dialektisch aufgehoben finden. Bilden die für die niederen Bewegungsformen gültigen Gesetze ihrerseits einen Rahmen für das Möglichkeitsfeld der Entfaltung der höheren,[80] so gilt gleichermaßen, dass die höheren Bewegungsformen in ihrem Wirkungsbereich neue Rahmenbedingungen für die weitere Evolution auch der niederen Bewegungsformen schaffen, d. h. deren Möglichkeitsfeld beeinflussen und unter Umständen neue oder anders gerichtete Entwicklungsprozesse auslösen. Ein *weiteres Beispiel* für derartige Zusammenhänge bildet die Herausbildung so genannter *vektorieller Reaktionen*, d. h. von chemischen Reaktionen, die nur dank eines gerichteten Ionen- bzw. Elektronentransports durch Membranen möglich sind.[81] Diese *chemischen* Reaktionen sind also an die Bioevolution gebunden.

79 Vgl. P. K. Kuroda, The Oklo Phenomenon, in: Die Naturwissenschaften, 4/1983, S. 536-539.
80 Vgl. W. Ebeling, Zur Stellung der Physik im System der Wissenschaften, in: M. Buhr/H. Hörz (Hrsg.), Naturdialektik – Naturwissenschaft, Berlin 1986, S. 124.
81 Vgl. E. Broda, Energetik der Lebewesen, in: M. Buhr/H. Hörz (Hrsg.), Naturdialektik – Naturwissenschaft, a. a. O., S. 182 f.

2.2 Möglichkeiten molekularer Evolution unter kosmischen Bedingungen

Zu Beginn der 40er Jahre des 20. Jahrhunderts konnte anhand von Absorptionslinien erstmals die Existenz einiger zweiatomiger Radikale im interstellaren Gas nachgewiesen werden. Jedoch wurden auch danach noch längere Zeit der molekularen Evolution unter den Bedingungen des interstellaren Raumes, insbesondere wegen der geringen Teilchendichte und der chemischen Bindungen zerstörenden Energie kosmischer Strahlung, nur außerordentlich geringe Entfaltungsmöglichkeiten eingeräumt. Diese Auffassung musste in den zurückliegenden Jahren gründlich revidiert werden. Dank der Fortschritte der Radioastronomie und dabei vor allem dank der Entwicklung der Mikrowellentechnik zu Beginn der 70er Jahre konnten bis heute *mehr als 60 verschiedene Verbindungen mit bis zu 13 atomaren Bausteinen* (berücksichtigt man Spezies mit verschiedenen Isotopen eines Elements getrennt, so sind es sogar über 100 verschiedene Verbindungen) *im Kosmos nachgewiesen* werden. „Es ist eine der abweisbaren Konsequenzen der Entdeckung mehratomiger interstellarer Moleküle, daß ... in den interstellaren Wolken unter Bedingungen, die weit außerhalb des normalen Erfahrungsbereichs der Chemiker liegen, ein verzweigtes leistungsfähiges chemisches Reaktionsnetz am Werke ist".[82]

Umfangreiche astrophysikalische Untersuchungen haben in den zurückliegenden Jahren zu einer Vielzahl neuer Beobachtungsdaten und Erkenntnisse nicht nur über die Möglichkeiten der molekularen [...],[83] [...] großräumigen Struktur der Verteilung der nuklearen Komponente im Kosmos und ihre Einbettung in galaktische Zyklen geführt.[84] Dazu gehört die *Entdeckung von Riesenmolekülwolken*, die z. B. in unserem Milchstraßensystem etwa 50% der Masse des interstellaren Gases umfassen, welches seinerseits ja immerhin etwa 15% der Gesamtmasse der Milchstraße ausmacht. Weiterhin wurde ermittelt, dass es hinsichtlich der Größe, der Teilchendichte und der Temperatur erhebliche Unterschiede zwischen verschiedenen Molekülwolken gibt, was zu verschiedenen Klassifizierungsversuchen führte. Die Wolken sind in unterschiedlichem Maße von kosmischem Staub durchsetzt. Gas und Staub sind in ihnen inhomogen verteilt. Von besonderer Bedeutung ist die Erkenntnis, dass sich die Sternentstehung nicht in Wolken atomaren Wasserstoffs vollzieht – diese Ansicht war noch vor 20 Jahren vorherrschend –, sondern der *Ausgangspunkt der Sternentstehung in*

82 J. Gürtler/Th. Hennig, Moleküle im interstellaren Raum. II. Chemische Prozesse in interstellaren Medium, in: Die Sterne, 3/1985, S. 138.

83 Vgl. z. B. B. K. Dose/H. Rauchfuss, Chemische Evolution und der Ursprung lebender Systeme, Stuttgart 1975; J. Gürtler/Th. Henning, Moleküle im interstellaren Raum, a. a. O., S. 138 ff.; C. Keller, Chemie zwischen den Sternen, in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 10/1986, S. 438 ff.

84 Vgl. Th Henning/J. Gürtler, Moleküle im interstellaren Raum. I. Struktur und physikalische Eigenschaften der Molekülwolken, in: Die Sterne, 1/1985, S. 1 ff., und III. Sternentstehung in galaktischen Molekülwolken, in: Die Sterne, 4/198 S. 195 ff.

den Molekülwolken zu suchen ist. Damit gewinnt die Erforschung der Evolution von Molekülwolken für das Verständnis galaktischer Zyklen fundamentale Bedeutung.

Wenngleich über die Mechanismen der Sternentstehung in Molekülwolken noch ziemliche Unklarheit herrscht und verschiedene miteinander konkurrierende Modellvorstellungen das aktuelle Diskussionsspektrum prägen, so kann doch anhand der bereits vorliegenden Erkenntnisse konstatiert werden, dass die naturwissenschaftliche Forschung hier wieder an einen Punkt gelangt ist, an dem die *wechselseitige Verknüpfung verschiedener Bewegungsformen der Materie* besonders plastisch hervortritt. Mehr noch: Betrachtet man den großen galaktischen Zyklus Sternentstehung – Sternevolution – Masseabgabe – Sterntod – interstellare Wolken – Sternentstehung, zeigt sich, wenn man die Rolle von Molekülwolken in diesem Zyklus berücksichtigt, dass hier *höhere und niedere Bewegungsform der Materie* (chemische und physikalische) *unmittelbar im gleichen Zyklus aneinander gekoppelt* sind. Wir haben es also auch hier mit Zusammenhängen zu tun, bei denen einerseits die *niedere Bewegungsform den Entwicklungsspielraum für die Entfaltung der höheren* bestimmt, und andererseits die *höhere Bewegungsform Voraussetzungen für die weitere Entfaltung der niederen* schafft.

Anders als im Falle des weiter oben dargestellten Oklo-Phänomens handelt es sich hierbei aber *nicht nur um ein lokales Ereignis.* Akzeptiert man den aktuellen Forschungsstand zur Sternentstehung, so ist die Existenz des molekularen Strukturniveaus und dessen Regression zu elementareren Strukturen in den Massenkontraktionen der Molekülwolken für den *gesamten galaktischen Zyklus* konstitutiv.

Die Chemie interstellarer Wolken hat sich in den zurückliegenden 15 Jahren zu einem eigenständigen interdisziplinären Forschungsgebiet entwickelt.[85] Ihr Fortschritt wird wesentlich von der Erweiterung der beobachtungstechnischen Möglichkeiten bestimmt. Vor allem von der Entwicklung neuer Generationen rauscharmer Strahlungsempfänger im Submillimeter- und Infrarot-Wellenlängenbereich und in Verbindung mit der Nutzung der Satellitentechnik wird die Entdeckung vieler weiterer interstellarer Moleküle erwartet.[86] Gleichzeitig hängen zu erwartende Erkenntnisfortschritte auch wesentlich von exakteren molekülspektroskopischen Messungen im Labor ab, um genaueste Vergleichsdaten für die radio-astronomisch ermittelten Spektren zu gewinnen.

Betrachtet man den *Anteil der Elemente an den interstellaren Molekülen*, so stehen Kohlenstoff, Sauerstoff und Stickstoff – oft auch als Organics bezeichnet – an der Spitze. Es folgen Silizium, Schwefel und Natrium. Die Mehrzahl der Moleküle besteht aus ff-3-Atomen. Komplexere Moleküle gehören zum großen Teil zu den organischen Kohlenstoffverbindungen. Bisher wurden nur 14 anorganische Moleküle

85 Vgl. D. A. Williams, Chemistry in dynamically evolving interstellar clouds, in: Nature, Nr. 316/1985, S. 678.
86 Vgl. M. Winnewisser, Interstellare Moleküle und Mikrowellenspektroskopie, in: Chemie in unserer Zeit, 1/1984, S. 1 ff. und 2/1984, S. 55 ff.

mit maximal 4 Atomen entdeckt, gegenüber mehr als 40 organischen. Es handelt sich bei den interstellaren Molekülwolken also *mehr* um eine *organisch-chemische* denn eine anorganisch-chemische Welt.[87] Dies besagt zunächst jedoch nichts weiter, als dass unter den extremen Bedingungen des Weltraums *Kohlenstoff* die größte Fähigkeit besitzt, Verbindungen zu bilden. Die interstellare Chemie liefert den vielfältigen Spekulationen über Nicht-C-Leben keine neue Nahrung.[88] Zugleich wird anhand der Ergebnisse der Chemie interstellarer Wolken erneut deutlich, dass es *keinen genetischen Zusammenhang* zwischen *anorganisch-chemischer und organisch-chemischer Evolution* gibt, in dem Sinne, dass die anorganisch-chemische der organisch-chemischen notwendigerweise vorausgeht.

Das *Möglichkeitsfeld der chemischen Evolution unter kosmischen Bedingungen* unterscheidet sich wesentlich von dem unter irdischen Bedingungen. Dies betrifft nicht nur die quantitative Seite, d. h. die vergleichsweise äußerst geringe Anzahl der in den interstellaren Wolken vorhandenen molekularen Spezies, so sehr auch künftige Forschung hier noch unseren Erkenntnisstand erweitern wird. Die extrem verschiedenen Bedingungen – insbesondere die geringe Teilchendichte, die das beste unter irdischen Bedingungen bisher erreichte Vakuum um Größenordnungen unterschreitet, die geringe Temperatur von meist nur wenigen Grad Kelvin sowie die Einwirkung hochenergetischer Strahlung – führen auch zu qualitativen Besonderheiten des Möglichkeitsfeldes der chemischen Evolution in den interstellaren Wolken. So sind im Prinzip nur exotherme, ohne Aktivierungsenergie ablaufende Reaktionen zu erwarten. Die geringe Geschwindigkeit der Reaktionen unter den Weltraumbedingungen ermöglicht es, dass sich z. B. Radikale und ungesättigte Kohlenwasserstoffe, d. h. also reaktionsfreudige Verbindungen, unter den bisher identifizierten Verbindungen in großer Zahl befinden. Radikale werden gewissermaßen nach ihrer Erzeugung durch Einwirkung hochenergetischer Photonen regelrecht „eingefroren". In ähnlicher Weise erklärt sich auch die deutlich größere Stabilität solcher unter irdischen Bedingungen extrem instabiler Moleküle wie z. B. Isoblausäure. Nicht zuletzt gehören zu den Besonderheiten auch Prozesse der chemischen Fraktionierung, d. h. der Anreicherung bestimmter Isotope wie z. B. des Deuteriums in den interstellaren Molekülen (im Vergleich zum kosmischen D/H-Verhältnis bis zum Faktor 10^4) auf Grund der Unterschiede in der Bindungsenergie infolge der unterschiedlichen Masse der Isotope. Obgleich die Zahl der entdeckten Kohlenstoffverbindungen recht hoch ist, waren bis vor kurzem nur Moleküle mit einer linearen, unverzweigten Anordnung der C-Atome bekannt. Erst in jüngster Zeit gelang der Nachweis des Radikals der ringförmigen Verbindung C_3H_2.[89]

87 Vgl. H.D. Pflug, Gedanken zum Ursprung des Lebens, in: Umschau, 1/1985, S. 18.
88 Vgl. H. Reeves Woher nährt der Himmel seine Sterne, a. a. O., S. 94.
89 Vgl. C. Keller, Chemie zwischen den Sternen, a. a. O., S. 439; H. Kohl, Erste Ringmoleküle im Weltraum identifiziert, in: Stern und Weltraum, 3/1978, S. 126.

In Verbindung mit radioastronomischen Beobachtungen und experimentellen Vergleichsuntersuchungen spielen *Modellierungen chemischer Reaktionsnetze* und *Computersimulationen* eine zunehmende Rolle im Rahmen der Erforschung der chemischen Evolution in interstellaren Molekülwolken.[90] Die interstellaren Molekülwolken befinden sich nicht im thermodynamischen Gleichgewicht. Außerdem unterliegen sie vielen äußeren Einflüssen. Neben Modellen, in deren Rahmen ein zeitunabhängiges chemisches Gleichgewicht berechnet wird, werden daher gegenwärtig zunehmend zeitabhängige chemische Evolutionsprozesse in den Wolken modelliert. So liegen z. B. Rechnungen für die Evolution von Molekülwolken über einen Zeitraum von 10^8 Jahre unter Berücksichtigung von 1844 Reaktionen zwischen 200 verschiedenen Partnern (d. h. unter Einschluss einer Vielzahl bisher nur vermuteter Verbindungen) vor. Wenn sich innerhalb der Molekülwolken ein chemisches Gleichgewicht einstellen sollte, dann erfordert dies – so kann aus Berechnungen gefolgert werden – einen Zeitraum von vielen Millionen Jahren. Es bleibt zweifelhaft, ob angesichts der äußeren Störungen, denen die Wolke ausgesetzt ist und der Prozesse der Sternentstehung in den Wolken ein solcher Zustand überhaupt eintritt. Modelle, die diese *Dynamik der Wolken* im Ergebnis physikalischer Prozesse berücksichtigen, stoßen jedoch noch auf gravierende rechentechnische Schwierigkeiten.

Die Mehrzahl der Modelle basiert auf Reaktionsnetzen für Gasphasenreaktionen. Daneben wendet sich das Interesse zunehmend der *Reaktionsdynamik an der Oberfläche von winzigen Staubkörnern*, mit denen Molekülwolken durchsetzt sind, zu. Dies fußt zum einen darauf, dass heute die Bildung von Mänteln von leichtflüchtigeren Verbindungen um so genannte Silikatkerne beobachtungsmäßig gesichert ist. Andererseits bietet die Modellierung chemischer Reaktionsnetze unter Einschluss von Staubteilchen einige wichtige Vorteile. So schirmt der Staub einerseits die Moleküle in gewissem Maße gegen die Einwirkung kosmischer Strahlung ab. Andererseits können im Staub enthaltene radioaktive Isotope lokale Energiequellen darstellen. Staubkörner können Bindungsenergie aufnehmen, Reaktionen ermöglichen, für die Strahlungsübergänge sonst verboten sind, und katalytische Wirkungen ausüben. Wesentlich sind Staubkörner auch für die N_2-Bildung.

Anknüpfend an derartige Erkenntnisse und Überlegungen wurden *Szenarien über den Aufbau und die Entwicklung interstellarer Staubkörner* entworfen.[91] Dabei wird davon ausgegangen, dass zunächst ein so genannter Silikatkeimling (mit den Hauptbestandteilen Magnesium und Eisen neben Silizium) aus der Atmosphäre eines Roten Riesensterns austritt. Dieser fängt in der sich langsam verdichtenden Molekülwolke andere Atome und Moleküle ein und bildet einen Mantel, dessen Hauptbestandteile anfangs Wasser-,

90 Vgl. J. Gürtler/Th. Henning, Moleküle im interstellaren Raum. II. Chemische Prozesse im interstellaren Medium, a. a. O., S. 146 ff.
91 Vgl. z. B. J. M. Greenberg, Aufbau und Entwicklung von interstellaren Staubkörnern, in: Spektrum der Wissenschaft, 8/1984, S. 80 ff.

Methan- und Ammoniakeis sind. Unter dem Bombardement von UV-Photonen werden Molekülbindungen aufgebrochen und Radikale erzeugt. Das schafft Voraussetzungen für weitergehende, z. T. explosionsartig ablaufende Reaktionen und die Bildung komplizierterer Verbindungen. Dies um so mehr, da Berechnungen zeigen, dass ein solches Staubkorn im Mittel 25 mal den Zyklus einer interstellaren Wolke durchläuft, ehe es im Rahmen einer Sternentstehung von kollabierendem Gas mitgerissen wird und verdampft.

Parallel zur Entwicklung solcher Modellvorstellungen wurden *Modellexperimente* unter simulierten Weltraumbedingungen durchgeführt, wobei allerdings z. B. hinsichtlich des erreichten Vakuums und der Zeitdauer der Photolyse wesentliche Unterschiede zu den kosmischen Bedingungen bestanden. Im Ergebnis dieser Experimente wurde eine hochkomplexe Rückstandsmasse – nach ihrem Aussehen „Gelbes Zeug" genannt – erhalten, deren Zusammensetzung allerdings noch unklar ist. Das weist darauf hin, dass unter bestimmten Bedingungen im Kosmos auch noch erheblich komplexere Moleküle als die bisher identifizierten entstehen könnten.

Eine weitere Möglichkeit der Entstehung komplexerer chemischer Strukturen besteht darin, dass *chemische Reaktionen* auch *in der Nähe des absoluten Nullpunktes* infolge quantenmechanisch begründeter Tunneleffekte nicht völlig zum Erlöschen kommen. So konnte insbesondere die prinzipielle Möglichkeit aufgezeigt werden, dass sich interstellares Formaldehyd durch Tunneleffekte zu komplexeren Molekülen weiterentwickeln können.[92] Modellexperimente ergaben die Bildung langkettiger Formaldehydpolymere noch bei Temperaturen von 4,2 Kelvin.

Generell besteht bei der großen Mehrzahl der auf diesem Gebiet arbeitenden Forscher Übereinstimmung, dass unter den im interstellaren Raum herrschenden Bedingungen *wenig Hoffnung* besteht, *Makromoleküle* zu finden.[93] Dennoch kann die *Evolution interstellarer Molekülwolken* als Entwicklungsprozess verstanden werden. Dessen *relatives Ziel* ist dann als *Entfaltung der chemischen Bewegungsform* im Rahmen des durch die äußeren Bedingungen eingeengten Möglichkeitsfeldes zu bestimmen. *Kennzeichen* (*Kriterien*) *der partiellen Höherentwicklung* sind die Diversifikation chemischer Strukturen und Reaktionssysteme, die Entstehung komplexerer Strukturen (gemessen z. B. an der Anzahl, aber auch an der Art der Verknüpfung der das Molekül konstituierenden Atome) sowie vor allem ein zunehmendes Entwicklungspotential durch Vergrößerung des Möglichkeitsfeldes, speziell auch Zunahme der innermolekularen Dynamik im Verlaufe der Evolution. Der *Begriff der partiellen Höherentwicklung* soll dabei andeuten, dass infolge der äußeren Bedingungen einerseits in diesem Evolutionsprozess Phasen der Progression und der Regression eng miteinander verflochten sind, so dass sie sich auch hier wechselseitig bedingen, und andererseits letztlich weder dem Gesamtsystem Molekülwolke noch einzelnen Teilen der qualitative Sprung auf

92 Vgl. W. I. Goldanski, Quantenchemische Reaktionen bei sehr tiefen Temperaturen, in: Spektrum der Wissenschaft, 4/1986, S. 62 ff.
93 Vgl. H. Reeves, Woher nährt der Himmel seine Sterne?, a. a. O., S. 94.

das höhere Entwicklungsniveau biotischer Systeme gelingt und immer wieder Teile der Wolke zu Sternen kollabieren, wobei das erreichte Entwicklungsniveau hinsichtlich der entstandenen chemischen Strukturen wieder vernichtet wird. (Vgl. *Abb. 12*)

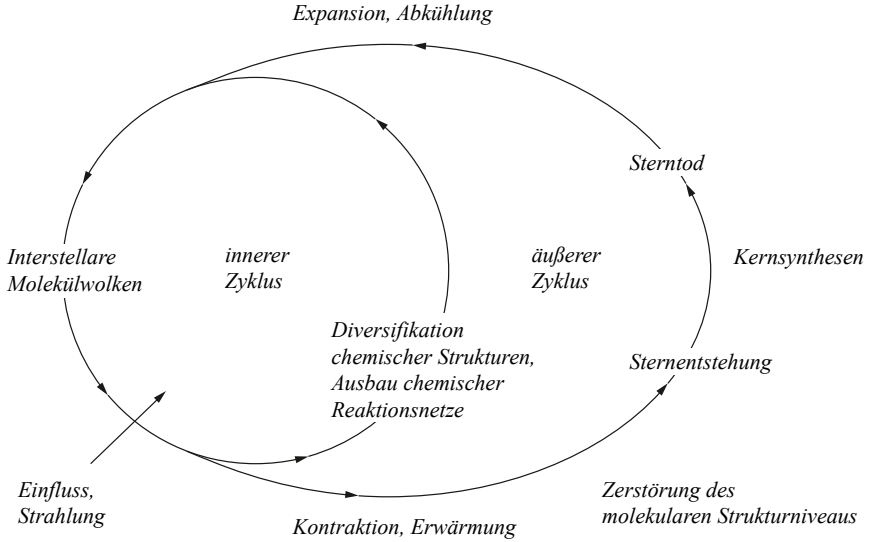

Abb. 12: Evolution interstellarer Molekülwolken – Beispiel für partielle Höherentwicklung (schematisch)

Es wird versucht – ausgelöst durch bestimmte Schwierigkeiten bei der Modellierung des präbiotischen Evolutionsprozesses unter den Bedingungen der Geoevolution – nachzuweisen, dass *Grundbausteine der präbiotischen Evolution* wie z. B. Aminosäuren *aus dem Weltraum* auf die Erde gelangt sind und dann unter den im Verlaufe der Geoevolution entstandenen Bedingungen zur präbiotischen Evolution geführt haben. Allgemein akzeptiert ist, dass mit kosmischem Staub und Meteoriten, die auf die Erdoberfläche oder in die Erdatmosphäre gelangten, auch organisch-chemische Verbindungen aus dem Weltraum in die geochemischen Zyklen eingebracht wurden. Strittig ist jedoch schon, ob dies auch für Aminosäuren zutrifft. Untersuchungen bestimmter Meteoriten – so genannter kohliger Chondriten – scheinen dies allerdings zu belegen.[94] Damit im Zusammenhang wurden in diesen Meteoriten auch membranartige Strukturen nachgewiesen. Daraus wird geschlussfolgert, dass in diesen Strukturen eventuell ein abiogener Stoffwechsel nach Art der von Fox künstlich erzeugten Mikrosphären (siehe VI. 3) existiert haben könnte. Dies hat den Spekulationen über die Möglichkeiten der chemischen Evolution unter den Bedingungen

94 Vgl. H.-D. Pflug, Microvesciles in Meteorites, a Model of Pre-biotic Evolution, in: Die Naturwissenschaften, 10/1984, S. 531 ff.

des Weltraums neue Nahrung gegeben. Insbesondere ist F. Hoyle bestrebt, seine Auffassung vom extraterrestrischen Ursprung des irdischen Bios mittels des Einbaus solcher neueren naturwissenschaftlichen Forschungsergebnisse gewissermaßen auf eine evolutionstheoretische Grundlage zu stellen.[95] Zugleich postuliert er, dass selbst aktuell das Leben auf der Erde wesentlich durch Mikroorganismen aus dem Kosmos beeinflusst wird. Auch die Ergebnisse der Kometenforschung, speziell die jüngsten Untersuchungen des Halley-Kometen, werden als Hinweis auf die Herausbildung komplexerer chemischer Strukturen unter kosmischen Bedingungen gewertet.[96]

3. Präbiotische Evolution

3.1 Grundpositionen zur Herkunft des Lebens

Das moderne naturwissenschaftlich-evolutionäre Herangehen an das uralte *Problem des Lebensursprungs* wurde in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts von A. I. Oparin und J. B. S. Haldane begründet. Daneben gibt es noch andere Auffassungen. Im Anschluss an Haldane können hauptsächlich *vier* verschiedene *Grundpositionen* zur Herkunft des Lebens unterschieden werden, die im 20. Jahrhundert vertreten worden sind oder entstanden.[97] In einer ersten Auffassung wird das *Leben als ewig*, als integraler Bestandteil eines zeitlich unbegrenzt existierenden Universums betrachtet. Es hat keinen Anfang und wird irgendwie von Himmelskörper zu Himmelskörper transportiert. Diese Konzeption ist aber schon auf Grund der heutigen Erkenntnisse über die kosmische Evolution unhaltbar. Weiter bestehen Vorstellungen fort, nach denen das Leben durch ein übernatürliches Ereignis, einen *göttlichen Schöpfungsakt*, entstanden sein soll. Diese Vorstellungen gründen sich nicht auf sachliche Argumente und befinden sich außerhalb der wissenschaftlichen Erforschung und Diskussion des Lebensursprungs.

Von diesen beiden Positionen heben sich zwei theoretische Ansätze ab, die das Leben auf der Erde als durch *materielle Entwicklung*, als *Ergebnis chemischer Evolution* entstanden zu begreifen suchen. Zwischen beiden Ansätzen gibt es einen gravierenden Unterschied hinsichtlich der angenommenen Wahrscheinlichkeit eines solchen Vorgangs. Der eine Ansatz besagt, „daß sich das Leben auf der Erde spontan ergab, nachdem komplexe chemische Prozesse ein gewisses Niveau erreicht hatten, daß die Ereigniskette jedoch so lang ist, daß die Entstehung des Lebens als ein sehr unwahrscheinliches Ereignis gewertet werden muß ... Die andere Theorie behauptet einfach, daß Leben automatisch entsteht, wenn ein gewisses Maß an chemischer Komplexität

95 Vgl. z. B. F. Hoyle, Evolution durch kosmischen Gen-Import, in: Die Sterne, 5-6/1985, S. 342 ff.
96 Vgl. R. Froböse, „Giotto" am Halleyschen Kometen – eine Bilanz, in: Umschau, 8/1986, S. 435 ff.
97 Vgl. J. B. S. Haldane, The Origin of Life (1929), in: J. D. Bernal, The Origin of Life, London 1967, Appendix 1; S. Mitton (Hrsg.), Cambridge Enzyklopädie der Astronomie, Leipzig – Jena – Berlin 1978, S. 389.

erreicht ist. Zu dieser Meinung tendieren heute die meisten Wissenschaftler. Es ist eine gute wissenschaftliche Hypothese, da man Laboratoriumsexperimente durchführen kann, die auf die Entstehung des Lebens Licht werfen können."[98]

Das letztgenannte Herangehen an das Problem der Lebensentstehung ist das von Oparin und Haldane begründete. Der Ausdruck „automatisch" mag in diesem Zusammenhang nicht sehr glücklich gewählt sein. Es handelt sich darum, dass *unter bestimmten Bedingungen mit gesetzmäßiger Notwendigkeit statistische Prozesse* in Gang kommen, deren *Trend* darin besteht, *über die chemische Bewegung hinaus* zur Entstehung primitiver Lebensformen zu führen – gewiss nicht in einer linearen Abfolge, sondern *über verschiedene Entwicklungsstadien*, auf deren jedem es von neuem mehr oder weniger weit tragende „Anläufe" gibt, die keineswegs alle zum Erreichen des nächsten Stadiums oder gar *der höheren Qualität „Leben"* führen.

Ein solches Herangehen an das Problem der Lebensentstehung entspricht seinem Wesen nach der *dialektisch-materialistischen Auffassung* von der *Gesetzmäßigkeit des materiellen Geschehens* und dem *Zusammenhang zwischen den verschiedenen Bewegungsformen der Materie*. Unter diesem philosophischen Aspekt sollen nachfolgend aktuelle Resultate aus der Erforschung der zum Leben, wie wir es heute auf der Erde vorfinden, führenden präbiotisch-chemischen Prozesse diskutiert werden. Die Frage, ob Leben nur auf der Grundlage organisch-chemischer Kohlenstoffverbindungen entstehen kann, bleibt dabei weitgehend außer Betracht.

Im Kern geht es bei der *philosophischen Analyse der Probleme präbiotischer Evolution* um die Frage, *wie in der Entfaltung der chemischen Bewegungsform der Materie* im Wechselspiel von äußeren Bedingungen und innerer Dynamik chemischer Systeme ein Organisationsniveau des Chemischen in der Einheit von strukturellen und funktionellen Beziehungen *als Entwicklungspotential* entstehen konnte, aus dem heraus der *Qualitätsumschlag zum Biotischen* möglich wurde. Mit anderen Worten: Wie haben sich im Rahmen der chemischen Bewegung der Materie in ihrer Wechselwirkung mit dem Umgebenden *neue*, vor allem *höhere Qualitäten* herausgebildet?

Dabei ist zu berücksichtigen, dass zwar Lebensspuren auf der Erde in sehr alten Gesteinsschichten gefunden wurden, direkte paläogeochemische Befunde für die präbiotische Evolution aber ausstehen und wohl auch kaum zu erwarten sind. Davon ausgehend konzentriert sich das Interesse auf den Nachweis der Möglichkeit der Lebensentstehung unter für die frühen Entwicklungsphasen der Erde angenommenen Bedingungen und die *Konstruktion von Modellen für mögliche Abläufe* der präbiotischen Evolution, einschließlich der Simulation der entsprechenden Prozesse mit rechentechnischen Methoden sowie experimentelle Untersuchungen zur Stützung der Modellierung jeweils zugrundeliegender Annahmen. Der aktuelle Forschungsstand kann dabei als *partielle Rekonstruktion* bzw. *Modellierung von Möglichkeiten* in der präbiotischen Evolution charakterisiert werden.

98 S. Mitton (Hrsg.), Cambridge Enzyklopädie der Astronomie, a. a. O., S. 389.

3.2 Geoevolution und präbiotische Evolution

Nach heutigen Erkenntnissen sind seit der Entstehung der Erde ca. 4,6 Milliarden Jahre vergangen. Mikrofossilien, die darauf schließen lassen, wann das Leben auf der Erde entstand, wurden in den etwa 3,5 Milliarden Jahren alten Sedimenten von Onverwacht und Warawoona gefunden. Folgt man den Ansichten von H. D. Pflug, dann sind Lebensspuren bereits in den ältesten bisher bekannten Gesteinen von Isua (ca. 3,8 Mrd. Jahre alt) nachweisbar.[99] Daraus wird deutlich, dass im Vergleich zum Erdalter nur eine recht begrenzte Zeitspanne bis zur Herausbildung der biotischen Bewegungsform der Materie – sofern man davon ausgeht, dass das Leben auf der Erde entstand (siehe dazu weiter unten) – vorhanden war. Dementsprechend kann man schlussfolgern, dass sich die *präbiotische Evolution praktisch zeitgleich* mit den Prozessen vollzog, die *zur geologischen Formierung der Erde* führten. Daraus ergibt sich, dass Erkenntnisse über die frühe Geoevolution von entscheidender Bedeutung für die Analyse des Möglichkeitsfeldes der präbiotischen Evolution sind. Leider ist gerade in dieser Hinsicht noch vieles unklar.

Aus den Bedingungen für das Funktionieren des *Biochemismus* fast aller heute auf der Erde lebenden Organismen ist zu schließen, dass der *durch die Energiezufuhr von der Sonne gegebene Temperaturbereich* an der Erdoberfläche und das *Vorhandensein tropfbaren Wassers* wesentliche Bedingungen der präbiotischen Evolution waren. Allerdings haben sich einige Organismen, so die extremophilen Archaebakterien, auch weitaus extremeren Bedingungen angepasst. Solche Parameter wie die Temperatur hängen mit ihren Konsequenzen vom Zusammenspiel ganz unterschiedlicher Faktoren ab. Den für die Einstellung eines mittleren Temperaturbereichs oberhalb des Gefrierpunktes von Wasser an der Erdoberfläche erforderlichen Ausgleich sicherte zu dieser Zeit wahrscheinlich ein Treibhauseffekt infolge eines weitaus höheren Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre als heute. Gäbe es andererseits nicht die Aggregation der Wassermoleküle dank der Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen, so wäre das Wasser der Urozeane verdampft. Ungeachtet der *prinzipiellen Möglichkeit* der *Entwicklung von der physikochemischen zur biotischen Bewegungsform der Materie* spielten konkret-historisch nicht wenige *wesentliche Zufälle* bei der Entstehung des Lebens gerade *auf unserer Erde* eine Rolle.

Von besonderer Bedeutung für die präbiotische Evolution war zweifellos die *Herausbildung und Evolution der Erdatmosphäre.* Diese hat im Verlaufe der Geoevolution verschiedene gravierende Wandlungen ihrer Zusammensetzung erfahren. In die Zeit der präbiotischen Evolution fällt die Ausbildung der so genannten *sekundären Atmosphäre*

99 Vgl. H.-D. Pflug, Early Geological Record and the Origin of Life, in: Die Naturwissenschaften 1/1984, S. 64 ff.; siehe auch: W. Gopman, Die Zeit des latenten Lebens, in: Wissenschaft in der UdSSR, 1/1982, S.48-53; D. I. Groves/J. S. R. Dunlop/R. Buick, Frühe Lebensspuren, in: Evolution. Die Entwicklung von den ersten Lebensspuren bis zum Menschen, Heidelberg 1982, S. 110-121; I. N. Krylov, Drevnejšie sledy zizni, in: Priroda, 9/1985, S. 68-76; F. P. Mitrofanov A. K. Zapol'nov, Problemy geologii dokembrija, in; Priroda, 1/1985, S. 44-52.

durch Ausgasung der Erde (nachdem die zunächst vorhandene *primäre Atmosphäre* aus gasförmigen Bestandteilen der proplanetaren Wolke in den Weltraum abdiffundiert war). Die Atmosphäre war zu dieser Zeit weitgehend sauerstofffrei. Die Meinungen über die Zusammensetzung dieser Atmosphäre differieren ansonsten jedoch sehr stark. Nachdem lange Zeit die Ansicht dominierte, dass sie reduzierenden Charakter trug, treten neuerdings Auffassungen in den Vordergrund, nach denen sie aus einer „redoxneutralen" Mischung von Stickstoff, Wasserdampf und Kohlendioxid bestand. Auch schwach oxidierend wirkende Atmosphären sind in der Diskussion. Daneben gibt es Auffassungen über die Möglichkeit, dass der Redoxzustand der Atmosphäre örtlich großen Schwankungen (von neutral bis stark reduzierend) unterlag. Die Auseinandersetzungen um diese Frage haben deshalb so zentrale Bedeutung, weil die Möglichkeit der Bildung und Stabilität organischer Moleküle auf der frühen Erde entscheidend durch die Zusammensetzung und den Redoxzustand der Atmosphäre beeinflusst werden.

Geochemische Befunde belegen, dass bereits auf der *jungen Erde* zahlreiche *chemische Differenzierungsprozesse* hinsichtlich des stofflichen Aufbaus erfolgten. Dies gilt – um das Spektrum nur anzudeuten – z. B. sowohl hinsichtlich des selektiven Ausschmelzens der Eutektika, der chemischen Veränderungen der Lithosphäre und so genannter kristallchemischer Evolutionsprozesse als auch bezüglich solcher für geologische wie geochemische Zyklen und die *Dynamik der Geoevolution* insgesamt grundlegender Prozesse wie die Differenzierungsprozesse von *Erdkern* und *Erdmantel* und die *Dynamik der Plattentektonik*.[100] Wesentliches Fazit der aktuellen Untersuchungen ist dabei, dass sich in den *geologischen Kreisläufen* zugleich eine gerichtete *stoffliche Evolution* vollzieht und insgesamt im Verlaufe der erdgeschichtlichen Prozesse die Vielfalt der Erscheinungsformen anorganischer Materie auf der Erde zunimmt.[101] Fügt man den für den rotierenden Erdkörper typischen Wechsel der Bedingungen (Licht, Temperatur) im *Tag-Nacht-Rhythmus* hinzu, so bildete die Erde – ungeachtet vieler offener Fragen bezüglich dieser Prozesse[102] – bereits einen sowohl in stofflicher als auch in struktureller Hinsicht außerordentlich differenzierten Körper, der *der chemischen Evolution* ein *breites Möglich-*

100 Vgl. z. B. M. M. Romanova, Die Herausbildung der Vorstellungen vom Eutektikum (der Zusammenhang zwischen empirischen Vorstellungen, Theorie und Experiment), in: Schriftenreihe für Geologische Wissenschaften, 24/1985, S. 91 ff.; W. Kramer, Entwicklungstrends anorganischer Materie in der Lithosphäre, in: ebenda, S. 75 ff.; M. Kimata, Crystallo-chemical Evolution of Crystal Structure Due to Cationic Substitution After the Example of Melilite, in: Naturwissenschaften, 7/1985, S. 372 ff.; J. H. Jones/M. J. Drake, Geochemical constraints on core formation in the Earth, in: Nature, 6076/1986, S. 221 ff.; T. Gold, Oil from the centre of the Earth, in: New Scientist vom 26.9.98, 61, S. 42 ff.

101 Vgl. W. Kramer, Entwicklungstrends anorganischer Materie in der Lithosphäre, Schriftenreihe für Geologische Wissenschaften, 24/1985, S. 80 f.

102 Vgl. z. B. J. H. Jones/M. J. Drahe, Geochemical constraints on core formation the Earth, in: Nature, 6076/1986, S. 221 ff.; D. Meckenzie, Mantle mixing still a mystery, in: Nature, 6086/1986, S. 297.

keitsfeld eröffnete. Im Einklang damit ist in den letzten Jahren *bei der Modellierung* der frühen Phasen der chemischen Evolution ein *neues*, *differenzierteres Herangehen* spürbar. So tritt an die Stelle summarischer Betrachtungen über die Reaktionsmöglichkeiten in einer hochreaktiven Atmosphäre und der ozenanischen „Ursuppe" zunehmend das Bild einer Erde ähnlich der heutigen, zwar mit signifikanten Unterschieden, jedoch mit einem guten Teil ihrer charakteristischen morphologischen und geochemischen *Komplexität*.[103]

Den *Gegenstand* der *Forschungen zur präbiotischen Evolution* bilden hauptsächlich jene *Prozesse der chemischen Evolution*, die von einfachsten chemischen Verbindungen zu den Makromolekülen und ihren funktionellen Verkettungen, wie man sie in den heutigen Organismen findet, führen könnten. Kaplan unterscheidet vier Phasen dieses Evolutionsprozesses, den er als Biogenese bezeichnet:

„1. Die abiotischen Synthesen kleiner, organischer *Bausteinmoleküle* unter den Bedingungen der Erdfrühzeit;

2. die abiotischen Synthesen der lebensnotwendigen *Makromoleküle* (Polymere), insbesondere der Proteine und Nucleinsäuren aus diesen Bausteinen;

3. die *Selbstorganisation* der Polymere zu größeren, geordneten Strukturen;

4. die Bildung erster, primitivster Lebewesen, der *Protobionten*, als Polymeraggregate mit spezifisch gemusterten und damit für Leben funktionsfähigen Molekülen."[104]

Diese Untergliederung findet sich analog auch in anderen Arbeiten[105] und kann weiter untersetzt werden.[106]

Berechnungen zeigen, dass die spontane Bildung allein eines Enzyms aus den molekularen Grundbausteinen ein außerordentlich unwahrscheinlicher Prozess ist, denn es gibt dafür – mathematisch betrachtet – weitaus mehr Möglichkeiten als das bisher der Beobachtung zugängliche Universum Atome enthält. Demgemäß wird die *präbiotische Evolution* in der Regel als ein *Vielschrittprozess* modelliert; allerdings wurden auch *Mehrtreffertheorien* zur Diskussion gestellt.[107] Gegenwärtig gibt es eine *Fülle* mehr oder weniger detailliert ausgearbeiteter *Modelle*. Es ist hier nicht der Platz, diese im einzelnen darzustellen. Generell ist der Einschätzung der Forschungssituation von W. Ebeling und R. Feistel zuzustimmen. Unter Bezug auf die von anderen Autoren erarbeiteten heuristischen Prinzipien der Glaubwürdigkeit und der Kontinuität, d. h. der Forderung, dass die einzelnen Schritte der Modellierung des Prozesses der *Biogenese* möglichst experimentell

103 Vgl. A. W. Schwartz, Chemical Evolution: The First Stages, in: Die Naturwissenschaften, 8/1983, S. 376.

104 E. E. Kaplan, Der Ursprung des Lebens, Stuttgart 1978, S. 14 f.

105 Vgl. H. Reinbothe/G.-J. Krauß, Entstehung und molekulare Evolution des Lebens, Jena 1982, S. 126.

106 Vgl. W.Ebeling/R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, Berlin 1982, S. 365 ff.; R. E. Dickerson, Chemische Evolution und der Ursprung des Lebens, in: Evolution. Die Entwicklung von den ersten Lebensspuren bis zum Menschen, a. a. O., S. 42-59; W. Hollitscher, Ursprung und Entwicklung des Lebens, Berlin 1984, S. 28.

107 Vgl. R. W. Kaplan, Der Ursprung des Lebens, a. a. O., S. 158 ff.

und/oder theoretisch verifizierbar und Zufallsereignisse in dieser Stufenleiter mit genügender Wahrscheinlichkeit belegt sein müssen, stellen sie fest: „Alle zur Zeit bekannten Hypothesen haben Etappen, die diesen Prinzipien nicht entsprechen."[108]

Bevor die Herausbildung des biotischen Strukturniveaus in der chemischen Evolution erörtert wird, ist zunächst Klarheit über die entscheidenden Charakteristika lebender Systeme zu gewinnen. Wesentliche *Merkmale des Lebens* sind *Stoffwechsel* zur Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen des einzelnen Organismus und *Reproduktion mit Vererbung*. Eine entscheidende Rolle für die Speicherung und Weitergabe der Information spielt dabei das genetische Material. Vom Standpunkt der Evolution biotischer Systeme sind das Vorhandensein von *Individuen* und *Mutationen* im Genom von prinzipieller Bedeutung. Grundlegender *Evolutionsmechanismus* ist das Wechselspiel von *Mutation und Selektion.* Zusammenfassend lässt sich Leben wie folgt charakterisieren: „Die Eigenschaften, die das allen Lebewesen gemeinsame Leben ausmachen, sind 1. *Selbstvermehrung* (Autoreproduktion) aufgrund der gegenseitigen Koppelungen der Synthesen von Nucleinsäuren als Informationsträger (Gene) und Proteinen als Aktionsmoleküle (z. B. Enzyme); 2. *Mutationsfähigkeit* durch gelegentliche ‚Fehler' der Gen-Replikation; 3. *Individuation* durch Einschluß der Reaktanten in eine Zelle."[109]

Damit ist die Frage aufgeworfen, welche *Mechanismen chemische Reaktionssysteme* in Richtung auf komplexe, hochgeordnete Zustände, wie sie für Lebewesen typisch sind, führen können. An sich sind *Strukturbildungsprozesse in der Chemie* nichts Ungewöhnliches, wenn man allein das große Gebiet der Kristallchemie betrachtet. Jedoch tragen Kristallisationsprozesse konservativen Charakter und führen nicht *zu evolutionsfähigen Strukturen*. Es war daher für die Modellierung präbiotischer Evolutionsprozesse von entscheidender Bedeutung, dass im Zuge der Herausbildung der irreversiblen Thermodynamik und der *Physik der Selbstorganisation* (siehe III. 5) das Entstehen dissipativer chemischer Strukturen und damit von *Grundlagen* auch für *physikalisch-chemische Selbstorganisationsprozesse* aufgezeigt werden konnte. Diese Prozesse haben eine ausgeprägte Abhängigkeit von den Randbedingungen, so „daß der Grundprozeß der physikalisch-chemischen Selbstorganisation zu dissipativen Strukturen bei Steigerung der entsprechenden Triebkraft (und weiterer modifizierter Randbedingungen) erst bei Überschreitung der ersten kritischen Bedingung möglich wird, bei der Überschreitung weiterer kritischer Bedingungen zu qualitativ modifizierten kinetischen Regimen und dissipativen Strukturen führt und ... bei sehr großen Triebkräften gestört oder sogar verhindert wird."[110] H. Linde hebt zugleich einen qualitativen Unterschied zwischen *physikalisch-chemischen dissipativen* Strukturen und *chemischen dissipativen*

108 W. Ebeling R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, a. a. O., S. 364.
109 R. W. Kaplan, Mutationen für die Evolution, in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 4/1984, S. 125.
110 H. Linde, Selbstorganisationsprozesse in der physikalischen Chemie und ihre Beziehungen zu Engels „Dialektik der Natur", in: M. Buhr/H. Hörz (Hrsg.), Naturdialektik – Naturwissenschaft, Berlin 1986, S. 145.

Strukturen hervor. Während ersterer hydrodynamische Regime, Schwingungsregime oder reaktionskinetische Regime selektieren, entwickeln chemische dissipative Strukturen gleichzeitig das zur Realisierung optimaler Reaktionsregime notwendige *Autokatalysatorsystem* weiter. Zugleich erlangen chemische dissipative Strukturen damit die Fähigkeit, bei einer Verminderung der Triebkräfte auf unkritische Werte, die durch Selbstorganisation gewonnene Information in einem thermodynamisch stabilen Autokatalysatorsystem latent zu konservieren. Dies bildet eine wesentliche *Voraussetzung für die Informationsakkumulation bei der biotischen Evolution*.[111]

Es ist das Verdienst von *M. Eigen*, diese Erkenntnisse im Hinblick auf die Modellierung wesentlicher Teilprozesse der präbiotischen Evolution verwertet zu haben.[112] Ausgangspunkt seiner Überlegungen ist ein Gemisch verschiedener organischer Verbindungen im Urozean, also die so genannte Ursuppe. Er nimmt an, dass sich in diesem Gemisch von Reaktanten zufällig Reaktionsnetze ausbilden konnten, bei denen sich in einem geschlossenen Zyklus Ketten aus Aminosäuren und Nukleotiden gegenseitig in ihrer Bildung zumindest schwach katalysierten. Einen solchen geschlossenen Reaktionsweg nennt er *Hyperzyklus*. Auf der Grundlage der Erkenntnisse über Selbstorganisationsprozesse in Systemen fernab vom Gleichgewicht konnte er zeigen, dass infolge der positiven Rückkopplung die zu diesem Reaktionszyklus gehörigen Stoffe akkumuliert werden. Im weiteren entwickelten M. Eigen und P. Schuster auf dieser Grundlage ein *mathematisches Modell der Konkurrenz verschiedener Hyperzyklen* um die in der Ursuppe enthaltenen Ausgangsstoffe und wiesen nach, dass sich bei begrenztem Vorrat an „Rohstoffen" ein Zyklus gegenüber den anderen durchsetzt.[113] Damit war nachgewiesen, dass *chemische Systeme* denkbar sind, an denen *biotische Evolutionsmechanismen* angreifen können. Dies begründet einen „molekularen Darwinismus".

Allerdings erfasst der *Eigensche Hyperzyklus nur einen Teil des biotischen Evolutionsprozesses*. Vor- und nachgelagerte Prozesse, speziell auch die Herausbildung zellulärer Strukturen, liegen nicht im Rahmen der mathematischen Ableitungen. Das Bemühen der Autoren ging daher in den nachfolgenden Jahren auch dahin, den Rahmen des *Konzeptes zu erweitern* bzw. den Hyperzyklus *in weit gefassten Stufentheorien einzuordnen*.[114] Im Hinblick auf die Ausbildung zellulärer Strukturen haben W. Ebeling und M. Feistel durch *Einbindung des Hyperzyklus in das Koazervat-Modell* versucht, weiterführende mathematisch fundierte Konzepte zu entwickeln.[115]

111 Vgl. ebenda, S. 173.
112 Vgl. M. Eigen, The Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules, in: Die Naturwissenschaften, 10/1971, S. 465 ff.
113 Vgl. M. Eigen, P. Schuster, The Hypercycle. A Principle of Natural Selforganization, in: Die Naturwissenschaften, 11/1977, S. 541 ff., 1/1978, S. 7 ff. und 7/1978, S. 341 ff.
114 Vgl. z. B. P. Schuster, in: K. Dose u. a. (Hrsg.), International Conference on the Origine of Life. Dordrecht 1984.
115 Vgl. W. Ebeling/R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, a. a. O., S. 365 ff.

„Eines der wichtigsten Resultate dieser allgemeinen Untersuchungen", so vermerken Ebeling und Feistel zur Wertung der Überlegungen von Eigen (1971), „ist die Schlußfolgerung: Das offene System der Urerde war instabil gegen Fluktuationen, die den Charakter einer molekularen Selbstorganisation trugen, und somit war die Entstehung von Lebensformen ein gesetzmäßiger und notwendiger Prozeß. Am Beginn dieses Prozesses standen jedoch Zufallsereignisse, die zur Bildung einer im Darwinschen Sinne evolutionsfähigen Struktur führten."[116] Dieser Wertung ist zuzustimmen. Zugleich wird damit aber ein prinzipielles Problem deutlich: Der *Eigensche Hyperzyklus* setzt *dort* an, *wo wesentliche Schritte der präbiotischen Evolution bereits vollzogen sein mussten.* Die Aufgabe bleibt also, die Gesetzmäßigkeiten jener Evolutionsprozesse aufzudecken, die zu den für die Überlegungen von Eigen notwendigen Strukturen führten. Wie wichtig dies ist, zeigt allein die Tatsache, dass neuere Untersuchungen über die *Bedingungen auf der frühen* Erde faktisch das gesamte Konzept von Eigen in Frage stellen. So wird von Kritikern hervorgehoben, dass dieses *Modell* zwar mathematisch exakt, aber auf die Bedingungen der Urerde gar nicht *anwendbar* wäre.[117] An die Stelle des Konstatierens von Zufallsprozessen, um auf das Zitat zurückzukommen, muss also für den Prozess der Evolution chemischer Systeme insgesamt die Analyse der *Verflechtung von Zufall und Notwendigkeit* und der *Nachweis der Möglichkeit und Tendenz zur Höherentwicklung* treten.

Darüber hinaus ist generell zu fragen, ob die Spezifik der *chemische Bewegungsform* der Materie mit der Konstruktion des Hyperzyklus ausreichend erfasst wird, der eine *Brücke vom physikalischen Mechanismus der Selbstorganisation* zum *Entwicklungsmechanismus des Biotischen* schlägt. Offen bleibt zumindest, ob sich nicht *Evolutionsmechanismen* auffinden lassen, die für die *chemische Bewegungsform* spezifisch sind und bewirken, dass sich im Wechselspiel von Prozessen des Auf- und Abbaus chemischer Strukturen tendenziell eine *Entwicklungsrichtung* hin *zur höheren Bewegungsform* geltend macht.

Somit ergibt sich als zentrales philosophisches Problem die Frage nach der *Evolution der Evolutionsmechanismen* im Prozess der Entfaltung der chemischen Bewegungsform. Natürlich kann hier philosophische Analyse einzelwissenschaftliche Forschung nicht ersetzen. Aber vielleicht kann eine solche Sicht helfen, Ansatzpunkte ins Blickfeld zu heben, die von der einzelwissenschaftlichen Forschung zur Klärung dieser Frage bereits erarbeitet wurden.

Betrachten wir zunächst noch einmal den *Mechanismus der Herausbildung des Chemischen im Rahmen der kosmischen Evolution.* Grundlegend hier die Nukleosynthese, die zur Aggregation von Protonen und Neutronen in den mannigfachen Variationen, wie sie die Isotope der Elemente verkörpern, führt. Flankiert wird dies von Prozessen der Verringerung der kinetischen Energie – sei es durch die universelle Expansion nach dem Urknall oder die Zerstreuung der Reaktionsprodukte der Kernsynthesen in

116 Ebenda, S. 363.
117 Vgl. S. Scherer, Über den Ursprung des Lebens (Bericht), in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 11/1983, S. 472.

den Sternen im interstellaren Medium. Hinzu tritt die Kernspaltung im interstellaren Raum durch energiereiche kosmische Strahlung, ebenfalls wieder mit nachfolgender Verringerung der kinetischen Energie der Reaktionsprodukte. Mit dem Prozess der Erniedrigung der Temperatur tritt nun eine weitere physikalische Wechselwirkung in Erscheinung: die elektromagnetische Kopplung von positiv geladenen Kernen mit negativ geladenen Elektronensystemen, d. h. die Bildung von Atomen.

Als Fazit ergibt sich: Im Prozess der *Entfaltung der physikalischen Bewegungsform der Materie* im Zuge der kosmischen Evolution wird auf bestimmten Stufen ein neues Verhalten der Materie konstituiert, das unter bestimmten Bedingungen schließlich zu Atomen führt. Diese *Atome* bilden nun die *Grundbausteine eines höheren Entwicklungsniveaus der Materie*, *der chemischen Bewegungsform*, indem die elektromagnetische Wechselwirkung der Atome untereinander das molekulare Strukturniveau konstituiert, wo zwar der einzelne *Elementarprozess* ein physikalisches Phänomen darstellt (und so auch mit physikalischen Mitteln beschreibbar bleibt), jedoch zugleich *neue Gesamtheiten* und *kollektive Phänomene* entstehen, die *qualitativ neue Verhaltensweisen* besitzen und sich *nicht auf elementare physikalische Prozesse reduzieren lassen* (und dementsprechend auch eine andere Beschreibungsweise erfordern). Die *physikalische Bewegungsform treibt* also auf der Grundlage ihrer inneren Dynamik unter bestimmten äußeren Bedingungen *über sich selbst hinaus*.

Analog sollte es möglich sein, die *Herausbildung des biotischen Strukturniveaus* auf der Grundlage *chemischer Mechanismen* zu verstehen. Es geht also sowohl um die *Grundprozesse*, die chemische Systeme zur Evolution befähigen, als auch um *spezifische Mechanismen*, die sich mit der Entfaltung der chemischen Bewegungsform herausbilden und zu einer solchen *Evolution chemischer Systeme* führen, in der die *Grundbausteine des Biotischen* konstituiert und der *Qualitätsumschlag zur biotischen Bewegungsform* möglich wird.

3.3 Entwicklungspotenzen der chemischen Bewegungsform der Materie

Der Grundprozess der chemischen Bewegung ist die *chemische Reaktion.* Diese ist durch einige allgemeine Merkmale charakterisiert (vgl. Kap. IV), die zugleich die Grundlage für die Evolutionsfähigkeit chemischer Systeme bilden. Da ist zum ersten, dass es sich bei chemischen Reaktionssystemen um *Wechselwirkungen* im Sinne der Ausbildung dynamischer Gleichgewichte zwischen den Reaktanten handelt. Die Lage dieser Gleichgewichte (im Hinblick auf den Anteil der einzelnen Reaktanten am Reaktionsgemisch) ist dabei in hohem Maße sowohl von inneren Bedingungen (z. B. Ausgangsgemisch, Reaktionskinetik, Aktivierungsbarrieren) als auch äußeren thermodynamischen und energetischen Randbedingungen abhängig. Dies schließt ein, dass durch die Wechselwirkung zwischen System und Umgebung die Einstellung des Gleichgewichts verhindert werden, durch von außen einwirkende Flüsse stationärer Nichtgleichgewichtszustände (dissipative Strukturen) ausgebildet und, bei Über-

schreiten kritischer Bedingungen, Qualitätsumschläge des Systems erfolgen können. Ein zweites Moment chemischer Reaktionen ist die untrennbare Verknüpfung von *Struktur und Prozess*. Jede chemische Reaktion wird durch die Spezifik der in Wechselwirkung tretenden chemischen Strukturen konstituiert, und sie führt ihrerseits zu einer Veränderung dieser Strukturen. Zugleich beinhaltet dies, dass jede chemische Struktur sowohl Resultat chemischer Prozesse (Reaktionen) als auch Ausgangspunkt für andere chemische Prozesse ist. Schließlich sei als drittes Moment hervorgehoben, dass chemische Verbindungen in der Regel *mehrere Reaktionsmöglichkeiten* besitzen, so dass sie mit verschiedenen Partnern in Wechselwirkung treten, bzw. auch mit dem gleichen Partner auf verschiedene Art und Weise wechselwirken können. Dies führt zu *Konkurrenzreaktionen* und – in Verbindung mit dem zuvor Charakterisierten – zur Ausbildung von *Reaktionsnetzen*.

Der *Grundprozess* der Entfaltung der chemischen Bewegungsform und in diesem Sinne auch der *chemischen Evolution* ist demzufolge die *Vergrößerung der Mannigfaltigkeit chemischer Strukturen* und *die Ausbildung von Reaktionsnetzen*.[118] Wie schon der Chemismus in interstellaren Molekülwolken zeigt, gibt es in diesem Prozess in Abhängigkeit von der Zeitdauer und den äußeren Bedingungen eine gewisse Tendenz zu höherer Komplexität chemischer Strukturen, d. h. zur Verknüpfung einer zunehmend größeren Anzahl von Atomen in einem Molekül. Jedoch macht dieses Beispiel gleichermaßen klar, dass allein auf der Grundlage dieses Mechanismus der Evolution enge Grenzen gesetzt sind. Im Wechselspiel von Auf- und Abbaureaktionen werden sehr bald abbauende Prozesse dergestalt dominant, dass sie die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten komplexerer Strukturen zunehmend verringern.

Doch die Entwicklungspotenz, die in der Spezifik chemischer Reaktivität steckt, ist mit bloßen Auf- und Abbaureaktionen bei weitem nicht erschöpft. Wie angedeutet liegt es in ihrem Möglichkeitsfeld, dass sich verschiedene Reaktionen miteinander verflechten. Ein spezieller Fall dafür ist, dass chemische Systeme als Mittler in die Wechselwirkung anderer chemischer Systeme als *Katalysatoren* eintreten, d. h. die Geschwindigkeit der Reaktion beschleunigen, im Extremfall diese erst in messbarer Größenordnung ermöglichen bzw. initiieren. Obwohl katalytische Prozesse bereits die kosmischen Evolutionsprozesse zu beschleunigen vermögen, liegt es erst in der Natur des Chemischen, diesen Mechanismus universell zur Wirkung zu bringen. Zugleich erschließt sich damit ein *erweitertes Möglichkeitsfeld für die Evolution chemischer Systeme*.

Ein weiterer qualitativer Schritt zu einem *neuen Evolutionsmechanismus* erfolgt mit der Ausbildung *chemischer Reaktionsnetze*, bei denen eine chemische Verbindung ihre eigene Bildung katalysiert. So tritt als neue Verhaltensweise chemischer Systeme die *Autokatalyse* in Erscheinung, was nicht nur zu einer weiteren Vergrößerung der Möglichkeiten für die Ausbildung chemischer Reaktionsnetze führt, sondern zugleich auch eine wichtige Voraussetzung für evolutiven Fortschritt im Rahmen der chemischen

118 Vgl. S. Albrecht /H. Frey, Chemie und Entwicklung – ein Problemkatalog 1985.

Bewegungsform darstellt. Wie bereits festgestellt, bilden sich bei solchen Systemen in Wechselwirkung mit ihrer Umgebung chemische dissipative Strukturen heraus, wobei einerseits das Autokatalysatorsystem, das für die Realisierung eines besonders wirksamen Reaktionsregimes notwendig ist, vervollkommnet wird und andererseits mit einem solchen Autokatalysatorsystem Bedingungen für die Konservierung von Information auf chemischer Grundlage geschaffen werden. Wir sehen also, dass wachsende Vielfalt chemischer Strukturen und Reaktionsnetze sowie zunehmende Verflechtung der Einzelprozesse zum „*Auftauchen neuer Eigenschaften*" (Reeves) führen.

Es liegt ebenfalls in der Natur chemischer Systeme, dass sich nicht nur Reaktionsnetze; sondern auch *Reaktionszyklen* ausbilden können (letztlich ist auch die Autokatalyse ein Spezialfall eines solchen Zyklus). Kommt wechselseitige katalytische Beeinflussung der in einen solchen Zyklus integrierten chemischen Verbindungen hinzu, so entsteht ein in einem erweiterten Sinne autokatalytisches System. Solche Zyklen treten – unabhängig von den zunächst gegebenen Stabilitätsbedingungen – in einen *selektiven Stoffaustausch* mit ihrer Umgebung. Welche weitergehenden Evolutionsmöglichkeiten gerade solche Zyklen erschließen, und wie sich hier auf der Grundlage physikalisch-chemisch begründbarer Selbstorganisationsprozesse bereits dem Biotischen analoge Evolutionsmechanismen geltend machen können, hat M. Eigen in seiner Theorie des Hyperzyklus überzeugend nachgewiesen.

Die Möglichkeiten selektiven Stoffaustauschs chemischer Systeme mit ihrer Umgebung, also Formen eines abiogenen Stoffwechsels beschränken sich aber keineswegs auf Systeme wie den Eigenschen Hyperzyklus. Erwähnt sei, dass bereits beim Wachstum von Kristallen in einer Lösung, die verschiedene chemische Bestandteile enthält, selektiv vom Kristall jene Bausteine aus der Lösung in den Kristallverband eingefügt werden, die seiner schon vorhandenen Struktur entsprechen. Wesentlicher jedoch im Hinblick auf die Herausbildung des biotischen Strukturniveaus sind abiogene Stoffwechselprozesse, wie sie im Anschluss an A. I. Oparins grundlegende Arbeiten in verschiedener Form bei Koazervaten nachgewiesen wurden, sowie die auf S. W. Fox zurückgehenden Versuche zur chemischen Synthese proteinoider Mikrosphären, die beide die Fähigkeit zur Vermehrung durch Sprossung oder Teilung besitzen.[119]

Ein weiteres wichtiges Moment, das die Evolutionspotenz chemischer Systeme hinsichtlich der „Herausbildung von für die biotische Bewegungsform wesentlichen Strukturelementen zeigt, ist die *Möglichkeit*, auf chemischem Wege, z. B. auf Lipid-Filmen *doppelschichtige Membranen herzustellen*,[120] die sich unter bestimmten Bedingungen sogar in doppelwandig umschlossene Bläschen, so genannte Mikrovesikel

119 Zum Verhältnis von Koazervaten und Mikrosphären, vgl.: V. J. A. Novak/B. Paoltova (ed.), Evolutionary Biology, Praha 1976, S. 413-419.
120 Vgl. G. Kretschmar, Grenzflächenchemische Modellierung von Eigenschaften der biologischen Membran, in: Mitteilungsblatt der Chemischen Gesellschaft der DDR, 8/1986, S. 170 ff.; D. N. Ostrovskij, Membrany v evoljucii zivogo, Priroda, 8/1984.

oder Liposome, umwandeln können. Auch hierbei spielen Selbstorganisationsprozesse eine wichtige Rolle.

Zugleich sind damit Modelle für die Erforschung der chemischen Mechanismen des Stofftransports durch Biomembranen bis hin zur weiteren Aufklärung der vektoriellen chemischen Reaktionen im biotischen Organismus gegeben. Jüngst wurden auch erste Zusammenhänge zwischen chemischen dissipativen Strukturen (chemischen Wellen) und einem aktiven Stofftransport aufgezeigt.[121]

Schließlich konnten in Meteoritenfunden vom Typ der kohligen Chondriten ähnliche Strukturen wie die erwähnten Mikrovesikel nachgewiesen werden. Es gibt begründete Annahmen, dass diese Strukturen extraterrestrischen Ursprungs sind.[122] Das hat natürlich Diskussionen um extraterrestrisches Leben, speziell über den möglichen Aufbau interstellarer Stäube, neue Nahrung gegeben. Unabhängig davon bleibt festzustellen, dass *chemische Reaktionssysteme zum Aufbau relativ abgeschlossener Strukturen befähigt* sind. Dabei bilden diese Strukturen ein *inneres Milieu* aus und können *mit ihrer Umgebung aktiv in Stoffwechsel* treten.

Im Rahmen des Studiums von Lebensprozessen kommt dem Problemkreis der *Reproduktion mit Vererbung* auf der Grundlage der *Speicherung und Weitergabe von Information* auf der Basis eines genetischen Apparates zentrale Bedeutung zu. Deshalb ist die Erforschung des Möglichkeitsfeldes der chemischen Bewegungsform gerade in Richtung auf diesen entscheidenden Evolutionsschritt von besonderer Wichtigkeit. Bis vor wenigen Jahren sah man diesbezüglich keine Alternative zu dem Nukleinsäure-Protein-System, weshalb sich die Modelle zur präbiotischen Evolution gerade auf Hypothesen für eine zu diesem System hinführende Stufenleiter konzentrierten. Experimentelle und theoretische Untersuchungen von A. Weiss[123] bewiesen jedoch, dass auch andere makromolekulare Systeme die Eigenschaft der Replikation und damit der Weitergabe von Information besitzen. Bei den von Weiss untersuchten Reaktionssystemen handelt es sich um Schichtsilikate, also um Tonmineralien (speziell um das Mineral Montmorillonit), wie sie zweifellos in den frühen Phasen der Geoevolution massenhaft entstanden sind. Die Triebkraft der Replikation der Schichtsilikate bildet der Wechsel äußerer Bedingungen, insbesondere des Elektrolytgehaltes von auf die Tonmineralien einwirkenden wässrigen Lösungen. Solche Wechsel könnten in der Natur bereits durch den Wechsel von der Schneeschmelze oder Regenzeit zu

121 Vgl. A. Bewersdorff, Transport durch chemische Wellen, in: Die Naturwissenschaften, 7/1986, S. 363 ff.
122 Vgl. H.-D. Pflug, Early Geological Record and the Origin of Life, in: Die Naturwissenschaften, 2/1984, S. 63 f.; H.-D Pflug, Microvesicles in Meteorites, a Model of Pre-biotic Evolution, in: Die Naturwissenschaften, 10/1984, S. 531 ff.; siehe auch H.-D. Pflug, Gedanken zum Ursprung des Lebens, in: Umschau, 1/1985, S. 16 ff.
123 Vgl. A. Weiss, Replikation und Evolution in anorganischen Systemen, in: Angewandte Chemie, 10/1981, S. 843.

Trockenheit und Dürre realisiert werden. Im Aufbau der Schichtsilikate lassen sich Bereiche mit qualitativ und quantitativ verschiedenen katalytischen Wirkungen und unterschiedlicher Selektivität unterscheiden. Replikationsfehler könnten zu einer Evolution führen. Selbst eine Wechselwirkung mit anderen chemischen Systemen (z. B. Graphitsäure) unter Informationsübertragung wäre denkbar. Der besondere Reiz dieser Untersuchungen liegt außerdem darin, dass sie die *prinzipielle Möglichkeit der Replikation* bereits auf *anorganisch-chemischem Strukturniveau* demonstrieren.

Generell lassen sich *zwei Typen makromolekularer Strukturen* unterscheiden. Das sind zum einen Kristalle und räumliche Strukturen nach Art der Schichtsilikate und zum anderen hochmolekulare Einzelmoleküle nach Art der Biopolymere. Der Grund für diese verschiedenen Möglichkeiten liegt in den zwei grundlegenden Erscheinungsformen chemischer Bindungskräfte, der *heteropolaren* und der *homöopolaren Bindung*. Dies prägt bereits den unterschiedlichen Charakter einfachster Moleküle. Daran wird auch sichtbar, dass die die chemische Bindung konstituierende elektromagnetische (physikalische) Wechselwirkung bereits auf dem Strukturniveau einfacher Moleküle zu ganz unterschiedlichen Phänomenen Anlass gibt, was dann beim Übergang zu makromolekularen chemischen Strukturen z. B. zu ganz unterschiedlichen Mechanismen wie Kristallisation und Polymerisation führt, wobei die Vielfalt der Kristalltypen(klassen) und Festkörperstrukturen ihrerseits auf den vielschichtigen Übergängen zwischen den Bindungstypen basiert. Dabei müssen hier selbstverständlich auch noch die metallische Bindung als dritter grundlegender Typ chemischer Bindung sowie intermolekulare Wechselwirkungen nach Art der Van-der-Waels-Bindung Berücksichtigung finden.

Der Vorzug der *Biopolymere*, die für das Leben auf der Erde zumindest seit langer Zeit durchgängig konstitutiv sind, gegenüber makromolekularen Strukturen wie den Schichtsilikaten liegt möglicherweise in ihrer Individualität als Einzelmolekül mit einer Fülle funktioneller Gruppen und einer komplexen räumlichen Struktur. Schließlich hängen damit wesentlich die räumliche und zeitliche Konzentration, Strukturierung und Koordinierung sowie die hohe Selektivität der Reaktionen innerhalb der Zellstrukturen des lebenden Organismus zusammen. Biomoleküle (mit etwa 10^3 atomaren Bausteinen) bilden offensichtlich ein *besonderes Strukturniveau* beim Übergang vom molekularen zum organismischen Niveau (wobei zwischen Biomolekülen und Organismus natürlich weitere Strukturniveaus auftreten).[124] Auch hier zeigt sich, wie *wachsende Komplexität* chemischer Strukturen zur *Herausbildung neuer Eigenschaften* und Verhaltensweisen des Systems führt, damit das *Möglichkeitsfeld der chemischen Bewegungsform modifiziert* und in Richtung auf die Evolution des Bios erweitert.

Biopolymere kann man als komplexe Vielkörpersysteme auffassen, deren Größe an der Grenze zwischen klassischen und quantenmechanischen Systemen liegt. Sie verfügen über eine große Zahl von Zuständen annähernd gleicher Energie und stellen dynamische

124 Vgl. H. Frauenfelder, Von Atomen zu Biomolekülen, in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 8/1985, S. 312 ff.

Systeme dar, die sich bei physiologischen Temperaturen vom chemischen Standpunkt aus in ständiger Bewegung befinden. Diese Dynamik kann nur als kollektives Phänomen verstanden werden, zumal die Biopolymere ihre Funktion in der Zelle nicht isoliert ausüben. Mehr noch: „Die Eigenschaften der einzelnen Makromoleküle zeigen sich in der Zelle oft nur im Molekülverband."[125] Die Charakteristik der Biopolymere reicht von E. Schrödingers mittlerweile klassischer Definition der Proteine als nichtperiodische Kristalle über die Differenzierung von quasifestem Kern und flüssigkeitsähnlicher Hülle bis hin zur Beschreibung als heterogene Gläser.[126] Beim Übergang zwischen den verschiedenen konformen Unterzuständen der Biopolymere, die für deren Funktion sehr bedeutsam sind, spielen wahrscheinlich *quantenmechanische Tunnelprozesse* eine bedeutende Rolle.

Als Fazit ergibt sich: Im Rahmen der *Entfaltung der chemischen Bewegungsform der Materie* können sich in vielfältiger Weise *alle Voraussetzungen für Lebensprozesse* ausprägen. Die Herausbildung von komplizierteren und komplexeren Strukturen und Reaktionsnetzen sowie deren zunehmende Verflechtung führen *stufenweise bis an das Entwicklungsniveau des Biotischen heran.* Wesentlich ist dabei, dass sich *schrittweise neue Verhaltensweisen chemischer Systeme* zeigen, die – in unmittelbarer Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen – das *Möglichkeitsfeld der chemischen Evolution modifizieren und erweitern können.* Damit im Zusammenhang *evolviert auch* der grundlegende Mechanismus chemischer Bewegung, *die chemische Reaktion.* (Vgl. *Abb. 13*)

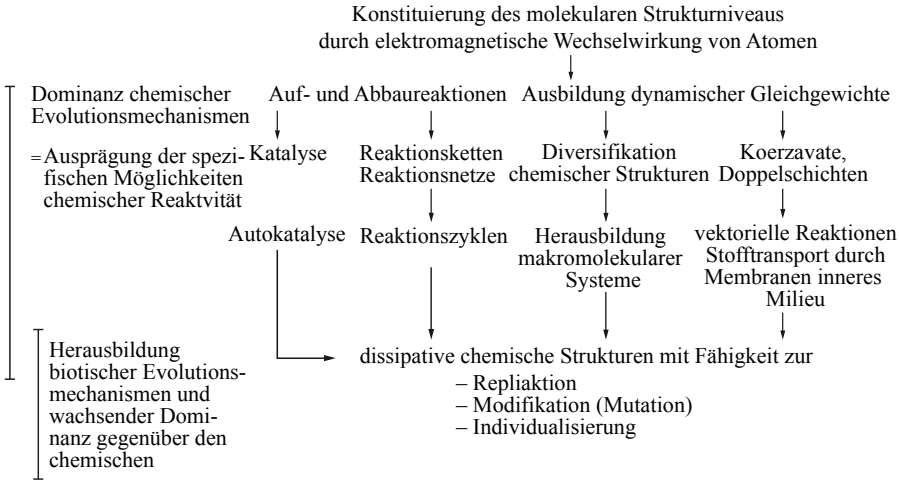

Abb. 13: Entwicklungspotenzen der chemischen Bewegungsform der Materie als Entfaltung des Möglichkeitsfeldes der chemischen Reaktivität

125 A. Klug, Vom Makromolekül zum biologischen Molekülverband (Novel-Vortrag), in: Angewandte Chemie, 8/1983, S. 579.
126 Vgl. W. I. Goldanski, Quantenchemische Reaktionen bei sehr tiefen Temperaturen, in: Spektrum der Wissenschaft, 4/1986, S. 71.

3.4 Modelle präbiotischer Evolution

Vielfalt und innere Dynamik der chemischen Bewegungsform verweisen zugleich auf die Notwendigkeit einer noch *komplexeren Betrachtung des präbiotischen Evolutionsprozesses* als in den bisher vorliegenden Modellen. Darüber hinaus gestatten die vorstehend analysierten Momente der Entfaltung der chemischen Bewegungsform auch die Schlussfolgerung, dass in der aufsteigenden Linie der Evolution des Chemischen bis hin zum biotischen Niveau *verschiedene Qualitäten im Sinne von Stufen der Höherentwicklung* unterscheidbar sind. Wesentlich dafür ist die Ableitung von Teilkriterien für die Bewertung chemischer Evolution ausgehend von den Merkmalen des Biotischen.

Im Hinblick auf eine Stufenleiter aus vielen kleineren physikalisch und chemisch plausiblen Modellschritten, die von einfachen Molekülen bis hin zur Herausbildung zellulärer Strukturen und einem genetischen Apparat führt, ist *das von H. Kuhn vorgeschlagene Modell*[127] nützlich, das er in den folgenden Jahren weiter verfeinert hat.[128] Ähnlich wie bereits Oparin mit der Koazervat-Hypothese, aber im Unterschied zu Eigen und Schuster, geht er dabei nicht von einer isotropen Verteilung von Ausgangsstoffen in einer „Ursuppe" aus, sondern betrachtet den Einfluss von periodischen Temperaturschwankungen wie z. B. im Tag-Nacht-Zyklus und einer anisotropen Umgebungsstruktur als wesentlichen Antrieb für die Herausbildung und Anreicherung bestimmter organisch-chemischer Makromoleküle mit replikativen Eigenschaften. Wesentlich für das Evolutionsverständnis ist, dass im Rahmen des Kuhnschen Denkmodells Aggregatbildung, Ausbildung einer zellulären Hülle, Entwicklung einer primitiven Replikase und schließlich eines ersten genetischen Kodes zu Bedingungen für die Überwindung von Evolutionsbarrieren werden. Dies schärft den Blick für quantitative und qualitative Veränderungen im biotischen Evolutionsprozess. Außerdem fügt sich – wie Kuhn abschätzt – sein Modell gut in die durch die Geoevolution und erste paläobiologische Funde gesetzten zeitlichen Rahmenbedingungen ein. Hinsichtlich des Vergleichs der *Modelle von Eigen und Kuhn* ist A. Unsöld zuzustimmen, der den Standpunkt vertritt, dass diese äußerlich zunächst kaum vergleichbar erscheinenden Ansätze *sich wechselseitig ergänzen* dürften.[129]

Insgesamt sehen sich die mit der Erforschung der präbiotischen Evolution befassten Wissenschaftler mit *zwei grundsätzlichen Schwierigkeiten* konfrontiert. Die *erste* besteht darin, dass zwar praktisch alle für die Herausbildung der für heutiges Leben erforderlichen Grundbausteine unter simulierten Bedingungen der frühen Erde synthetisiert werden konnten, jedoch mit den neuen Erkenntnissen über die

127 Vgl. H. Kuhn, Selbstorganisation molekularer Systeme und die Evolution des genetischen Apparats, in: Angewandte Chemie, 18/1972, S. 838 ff.
128 Vgl. z. B. H. Kuhn/J. Waser, Molekulare Selbstorganisation und Ursprung des Lebens, in: Angewandte Chemie 6-7 1981, S. 495 ff.
129 Vgl. A. Unsöld, Evolution kosmischer, biologischer und geistiger Strukturen, Stuttgart 1981, S. 73.

Zusammensetzung und den Redoxzustand der Atmosphäre der Erde zu jener Zeit erhebliche Schwierigkeiten auftauchen, wenn man erklären will, wie sich unter diesen Bedingungen selbst solche einfachen, aber für die präbiotische Evolution essentiellen Moleküle wie Zyanwasserstoff oder Formaldehyd in ausreichenden Konzentrationen anreichern konnten.

Besonders unwahrscheinlich erscheint dann allerdings die gleichzeitige Entstehung von Nukleinsäuren und Proteinen und ihre Kopplung in der Form, wie sie für die Autoreproduktion der heute auf der Erde lebenden Organismen bestimmend ist. Hierzu haben sich zwei entgegengesetzte Konzepte herausgebildet: das „nucleic-acids-first-concept", das vor allem dem Modell von Eigen und Schuster, aber auch dem von Kuhn zugrunde liegt; und das „proto-protein-first-concept", das die Foxschen Mikrosphären zum Ausgangspunkt nimmt. Simulationsexperimente aus den letzten Jahren sprechen inzwischen mehr für das letztere,[130] aber Fragen nach dem Replikationsmechanismus ohne Nukleinsäuren und das Problem des Übergangs zum Biochemismus sind bisher nicht befriedigend beantwortet bzw. gelöst. Über die beiden genannten Standpunkte hinaus gibt es eine dritte Position, die z. B. B. Vollmert vertritt. Er zweifelt generell an, dass auf der Grundlage der heute vorliegenden experimentellen Daten Aminosäuren und Nikleotide unter präbiotischen Bedingungen polykondensieren konnten.[131]

Im Bemühen, neue Denkansätze zu finden, untersucht man u. a. die Möglichkeit der präbiotischen Evolution mit RNA als Schlüsselmolekül des Übergangs zum Biotischen, worauf in Zusammenhang mit der Frage nach dem Ursprung des genetischen Kodes noch einzugehen sein wird. Die aufgezeigten Schwierigkeiten bilden auch einen wesentlichen Grund für die verstärkte Hinwendung zur Untersuchung der Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit der Anreicherung organisch-chemischer Verbindungen auf der Erdoberfläche im Ergebnis des Meteoritenbombardements auf die noch junge Erde.

Von der Vielzahl weiterer mehr oder weniger experimentell untermauerter Überlegungen soll hier noch einmal die Problematik der replikationsfähigen Tonmineralien aufgegriffen werden. Dies insbesondere deshalb, weil eine *zweite* grundsätzliche Schwierigkeit der gesamten Forschungsrichtung darin besteht, dass keinesfalls als gesichert angenommen werden kann, dass die Klärung der Probleme der präbiotischen Evolution über den bisher vor allem beschrittenen Weg der Analyse heutiger Proteine erfolgreich bzw. auch nur sinnvoll ist.[132] Weiss wirft zu Recht die Frage auf, ob die chemische Evolution direkt zum Nukleinsäure-Protein-System geführt hat oder ob nicht zwischen chemischer und biotischer Evolution eine Evolution re-

130 Vgl. K. Dose, Prebiotic Polypeptides and the Origin of Biological Information, in: Die Naturwissenschaften, 8/1983, S. 378 ff.
131 Vgl. S. Scheerer, Über den Ursprung des Lebens (Bericht), a. a. O., S. 472.
132 Vgl. S. W. Fox, Geleitwort, in: K. Dose/H. Rauchfuß, Chemische Evolution und der Ursprung lebender Systeme, Stuttgart 1985, S. V.

plikationsfähiger Systeme Berücksichtigung finden müsste, welche er als *Protoleben* bezeichnet.[133] (Vgl. *Abb. 14*)

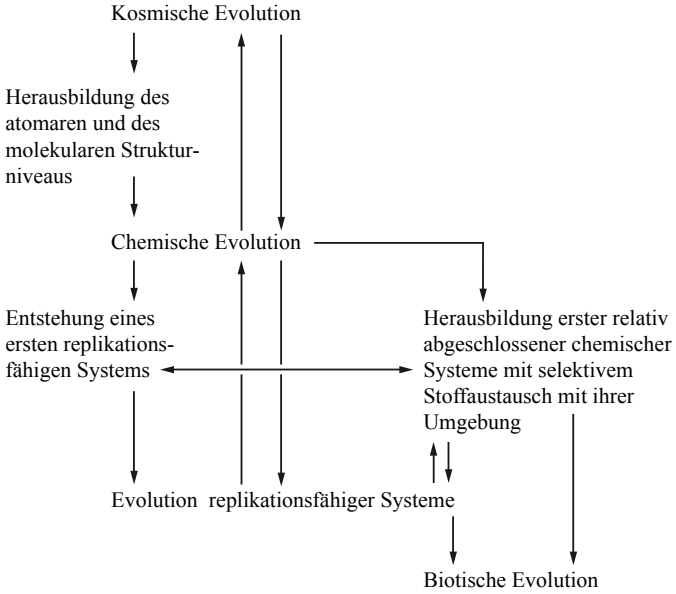

Abb. 14: Evolution replikationsfähiger Systeme als Zwischenstufe im Evolutionsprozess

Analysiert man die dabei gegebenen Möglichkeiten, so konnten die verschiedenen replikationsfähigen Systeme entweder nacheinander oder nebeneinander entstanden sein. Denkbar wären dann auch Konkurrenz und Selektion zwischen verschiedenen Replikationsmechanismen. Gravierender jedoch wäre ein möglicher genetischer Zusammenhang zwischen verschiedenen replikationsfähigen Systemen. In diesem Falle wären die vorliegenden Modelle des präbiotischen Evolutionsprozesses grundsätzlich zu überdenken. Überlegungen dieser Art unterbreitet A. G. Cairne-Smith, der die Forschungsergebnisse von Weiss aufgreift und postuliert, dass das replikationsfähige Tonmineralsystem zuerst entstanden sein und seinerseits in der Art einer Hülle eines „Baugerüstes" die Herausbildung des Nukleinsäure-Protein-Systems ermöglicht haben könnte.[134]

Ein weiterer Problemkreis bereitet bei der Untersuchung der präbiotischen Evolution bisher erhebliches Kopfzerbrechen: die Tatsache, dass der heutige Biochemismus nicht auf racemischen Gemischen optisch aktiver Verbindungen aufbaut, sondern fast nur die so genannten L-Aminosäuren und die D-Zucker nutzt. Nach vielen

133 Vgl. A. Weiss, Replikation und Evolution in anorganischen Systemen, a. a. O., S. 853.
134 Vgl. A. G. Cairne-Smith, Bestanden die ersten Lebensformen aus Ton?, in: Spektrum der Wissenschaft, 8/1985, S. 82 ff.

letztlich unbefriedigenden Erklärungsversuchen scheint sich hier in jüngerer Zeit eine interessante Wendung anzukündigen. Es sieht so aus, als ob diese Eigenart eine Folge der Asymmetrie der paritätsverletzenden schwachen (physikalischen) Wechselwirkung darstellt, die sich gemäß der vor einigen Jahren entwickelten Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung auch auf die chemische Bindung auswirkt. So sind z. B. L-Aminosäuren um eine winzige, aber letztlich ausreichende Größe stabiler als D-Aminosäuren, weshalb sich während der präbiotischen Evolution racemische Gemische so veränderten, dass L-Polypeptide dominant wurden.[135]

Und noch ein Problem: Herrschender Lehrmeinung gemäß war die *chemische Evolution nach der Herausbildung der biotischen Bewegungsform noch lange Zeit für die Urlebewesen von existentieller Bedeutung.* Denn als sehr wahrscheinlich wird angenommen, die Protobionten seien hochheterotroph gewesen, „konnten z. B. zunächst weder die Bausteine ihrer Proteine noch die ihrer Nucleinsäure selbst erzeugen ... waren (deshalb) noch lange auf die durch chemische Evolution gebildeten Stoffe als Nahrung angewiesen"[136]. Demgegenüber hat M. M. Kamšilov die *Hypothese der primären Entstehung* nicht nur heterotropher, sondern auch *autotropher Urorganismen* – und damit des biotischen Kreislaufs der Stoffe – aufgestellt. Die ursprüngliche autotrophe Ernährungsweise habe auf die ultraviolette Strahlung der Sonne ausnutzenden photosynthetischen Reaktionen beruht, wie sie ähnlich im Urozean bei der abiogenen Entstehung organischer Verbindungen stattfanden, wogegen die sichtbares Sonnenlicht nutzende Photosynthese mittels des Chlorophylls erst später entstanden sei.[137] Die Klärung dieses Problems ist von Bedeutung, wenn es darum geht, welche Rolle *genetische strukturelle Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Entwicklungsniveaus der Materie im Evolutionsprozess* spielen.

3.5 Entstehung des genetischen Kodes

Zum Abschluss der Erörterung von Fragen der präbiotischen Evolution und Entstehung des Lebens sei noch auf den *Ursprung der Erbinformation* – die in Basenfolgen von Nukleinsäuren kodiert ist und der Proteinbiosynthese aus Aminosäuren die der Replikation der Nukleinsäuren selbst zugrunde liegt – *und des genetischen Kodes* – der gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den Basensequenzen der Nukleinsäuren und den Aminosäuresequenzen der Proteine – eingegangen. Es handelt sich im folgenden

135 Vgl. W. J. Goldanski/W. W. Kusmin/L. L. Morozow, Verletzung der Spiegelsymmetrie und Entstehung des Lebens, in: Wissenschaft und Menschheit 1986, Moskau – Leipzig – Jena – Berlin 1986; W. Hollitscher, Ursprung und Entwicklung des Lebens, a. a. O., S. 35 ff.; R. Janoschek, Zur Linkshändigkeit der Natur (Bericht), in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 8/1986, S. 327 ff.
136 R. W. Kaplan, Der Ursprung des Lebens, a. a. O., S. 143; vgl. R. E. Dickerson, Chemische Evolution und der Ursprung des Lebens, in: Evolution. Die Entwicklung von den ersten Lebensspuren bis zum Menschen, a. a. O.
137 Vgl. M. M. Kamšilov, Značenie vzaimnootnochenij meždu organismij v evoljucii, Moskva – Leningrad 1961, S. 60 ff.; M. M. Kamšilov, Evolution of the Biosphere, Moscow 1976, S. 39 ff.

um die Entstehung der bei sämtlichen Lebewesen bereits auf molekularem Organisationsniveau nachzuweisenden *objektiv dialektischen Beziehungen zwischen Struktur und Funktion einerseits* und *Information andererseits.*

Wie P. Franz konstatiert, „besteht die Dialektik dieser Beziehung darin, daß Funktion nur in der durch die Information organisierten Struktur möglich ist, Information aber nur über die realisierte Funktion ihre Bedeutung erlangt. Diese von Eigen erstmalig so erkannte Beziehung beruht auf der Fähigkeit materieller Systeme, innere Veränderungen und äußere Einwirkungen über ihre Funktion spezifisch zu reproduzieren, d. h. widerzuspiegeln. Die Evolution als solche entspricht einem Lernvorgang, der auf reproduktiven Gedächtnisleistungen beruht[138], in dessen Verlauf Information ständig neu erzeugt wird und die den Folgegenerationen vererbte Information ständig anwächst. Daß Information nur durch selektive Wertung von funktionellen Leistungen spezifischer Strukturen entsteht, erweist sich bei Eigen beim Aufbau seiner Theorie der Selbstorganisation als ein wichtiges Prinzip und bildet den Kern seines Hyperzyklus-Modells."[139]

Wie immer die erwähnte Kontroverse um das „nucleic acids-first-concept" und das „protoprotein-first-concept" ausgehen mag – zu der Richtung der präbiotischen Evolution, die zum tatsächlich entstandenen Leben führte, gehörten unzweifelhaft die Vereinigung und Wechselwirkung von Nucleinsäuren und Proteinen in chemischen Reaktionssystemen sowie die Inkorporation solcher Reaktionssysteme in umgrenzte und zugleich mit dem äußeren Milieu in Stoff- und Energieaustausch stehende, offene präbiotische Systeme, Probionten. „Das Bild vom einsamen DNA-Molekül, das an einer urzeitlichen Meeresküste das übrige Leben erzeugte, wurde etwas weniger plausibel vorgebracht als das von Adam und Eva im Paradies", vermerkte J. D. Bernal.[140]

Der Beitrag der *Nucleinsäuren* zum Evolutionspotential war ihre inhärente Selbstinstruktivität, die nicht nur jeden einmal ausgebildeten Informationszustand, sondern auch jede weitere Veränderung reproduzieren lässt, den Beitrag der *Proteine*, ihre enorme funktionelle Kapazität hinsichtlich der spezifischen „Erkennung" von Stoffen, Katalyse und Regelung, die die Kopplung und Korrelation einzelner Reaktionsschritte und dadurch den Aufbau geordneter Funktionseinheiten ermöglicht. Bei den Proteinen allein wäre „zu wenig", bei den Nukleinsäuren allein wäre „zuviel" Instruktivität vorhanden gewesen. „Zu wenig" bedeutet, dass die verschiedenen konkurrierenden Sequenzen nicht in der Lage gewesen wären, Information für die Kodierung selektionsfähiger Funktionen anzusammeln. „Zuviel" hingegen bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit sich selbst begünstigender Mutationen zu klein gewesen wäre oder das System sich nicht von einer Vernetzung durch „parasitäre" Kopplungen hätte befreien können.[141]

138 M. Eigen/R. Winkler, Das Spiel, München – Zürich 1975, S. 317.
139 P. Franz, Das Modell des Hyperzyklus und die Entstehung des Lebens, in: H. Hörz/M. E. Omel'janovskij (Hrsg.): Experiment – Modell – Theorie, Berlin 1982, S. 148.
140 J. D. Bernal, The Origin of Life, a. a. O., S. 29.
141 Vgl. M. Eigen, Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules, a. a. O.

Zahlreiche experimentelle Befunde machen es wahrscheinlich, dass der *genetische Kode* der in den Chromosomen der Eukaryoten und den funktionell entsprechenden Genträgern der Bakterien und Viren gespeicherten Information *universell* ist, d. h. bei allen rezenten Organismen und Viren gleich, und demonstrieren so die *Einheit der Organismenwelt und ihres Ursprungs.* Vergleichende Untersuchungen der Aminosäuresequenzen von Proteinen und der Nukleotidsequenzen von Nukleinsäuren bringen Aufschlüsse über die stammesgeschichtliche Verwandtschaft der Organismen und ihre Evolution auf der molekularen Ebene ihrer Organisation, wobei der Kode invariant ist.[142]

Die Analyse des besonderen Genbestandes der Mitochondrien, des Chondrioms, aber ergab auch *Unterschiede* von diesem universellen Kode in einigen Kodons, und dabei zudem noch Unterschiede zwischen diesen Zellorganellen bei Tieren und bei Hefen und anderen Pilzen. So kodiert z. B. das Nukleotidbasen-Triplett Adenin-Uracil-Adenin der Messenger-RNA im universellen Kode und im Kode des Säugetierchondrioms aber die Aminosäure Methionin, das Kodon Cytosin-Uracil-Adenin im universellen und im Säugetierchondriom-Kode die Aminosäure Lemcin, im Hefechondriom-Kode aber Threomin. Derartige Unterschiede zwischen den Kodes „werden mit einer differentiellen Entstehung aus dem ‚Ur-Code'-Muster in Verbindung gebracht ..., was als Argument für eine außerordentlich frühe endogene DNA-Segregation oder exogene Inkorporation eines Mitochondrian-Vorläufers benutzt werden konnte. In diesem Zusammenhang wird sogar an freilebende archaische ‚Mitobionten' gedacht, die den ‚Proto-Eubionten' und den ‚Proto-Probionten' gegenübergestellt werden."[143] Werden hier Unterschiede im Kode als Spuren seiner Vergangenheit gedeutet, konnte in anderem Zusammenhang gezeigt werden, dass in heutigen Nukleinsäuresequenzen ein bestimmtes Triplett überwiegt, das als Überrest genetischer Urinformation interpretiert werden kann."[144] Theoretische Erwägungen, die durch Modellierungsexperimente bestätigt wurden, führten zu begründeten Vermutungen über die *Beschaffenheit der Urgene*.[145] Demnach waren es RNA-Moleküle von ca. 50 bis 100 Nukleotiden, die vorzugsweise aus Guanin und Cytosin bestanden. Sie waren dem Reproduktionsmechanismus der Nukleinsäuren gemäß spiegelsymmetrisch aufgebaut, stabil gefaltet, besaßen ein homogenes Kode-Muster und waren kommafrei ablesbar.

142 Vgl. A. E. Friday, Molekulare Schlüssel zur Evolution, in: Wissenschaft und Fortschritt, 7/1981, S. 266; H. Füller, Molekularbiologie und Evolutionslehre, Jena 1986; B. Parthier, Der Beitrag der Molekularbiologie zur Evolutionserkenntnis, Berlin 1983; K. Ruckpaul/W. Pfeil/W. Scheler, Molekulare Evolution von Eiweißmolekülen, in: H. Hörz/Č. Novinski (Hrsg.), Gesetz – Entwicklung – Information, Berlin 1979.
143 B. Parthier, Der Beitrag der Molekularbiologie zur Evolutionserkenntnis, a. a. O., S. 32 f.
144 Vgl. M. Eigen/W. Gardiner/P. Schuster/R. Winkerl-Oswalitsch, Ursprung der genetischen Information, in: Evolution. Die Entwicklung von den ersten Lebensspuren bis zum Menschen, a. a. O., S. 60-81.
145 M. Eigen, Das Urgen, in: Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Nr. 243, Bd. 52, 1980.

Alle diese Eigenschaften bedeuteten für diese Moleküle einen Evolutionsvorteil, so z. B. die besondere chemische Haftfähigkeit der komplementären Paarung zwischen den Basen Guanin und Cytosin. Ist doch die Wechselwirkung, die die Verknüpfung der Ketten bei der Kopierung und Übersetzung zwischen den komplementären Partnern vermitteln, beim Guanin-Cytosin-Paar etwa zehnmal so stark wie beim Adenin-Uracil-Paar.

Diese Eigenschaften weist heute die Klasse der Transfer-RNA-Moleküle (t-RNA) auf. In der lebenden Zelle haben sie eine exekutive Funktion im Translationsmechanismus: Sie adaptieren die verschiedenen Proteinbausteine an ihre jeweiligen Kodons, denn die Aminosäuren vermögen diese nicht zu erkennen. Der t-RNA entsprechende RNA-Moleküle standen vermutlich am Anfang der Evolution des Beziehungsgefüges zwischen Nukleinsäuren und Proteinen im Leben der Organismen, weil sie diese Beziehungen vermitteln und einen primitiven „Übersetzungsmechanismus" in Gang bringen konnten, der eine Selbstoptimierung ermöglichte.

Bildeten solche RNA-Moleküle einmal jene „Brücke" zwischen Nukleinsäuren als „Informationsmolekülen" und Proteinen als „Funktionsmolekülen", so mussten sich nach Eigen nicht nur die verschiedenen „Uradaptoren" aus dieser Molekülmasse rekrutieren, sondern auch die zur Übersetzung gelangenden Matrizen, die „Urgene". Mit ihnen konnte sich die Informationskapazität für *Struktur-Funktions-Komplexe* aufbauen, aus denen *autonome Lebewesen* wurden. Im Reagenzglas gelang es u. a., die Entstehung von RNA-Matrizen aus matrizenfrei erzeugter RNA nachzuvollziehen, wobei sich ihre Vermehrung unbegrenzt fortsetzen lässt und sich allmählich optimale Matrizen entwickeln.

„In den heute existierenden Organismen wird die Erbinformation mittels einer komplizierten Maschinerie verarbeitet, an der RNA und Proteine beteiligt sind. Damit sich eine solche Maschinerie entwickeln konnte, mußten die Informationsträger selbst strukturelle Merkmale aufweisen, die es den funktionellen Molekülen ermöglichten, sie spezifisch zu erkennen. Die einzelsträngige RNA kann sich im Gegensatz zu der starren DNA-Doppelhelix zu einer Vielzahl dreidimensionaler Strukturen falten. Wo immer in der heutigen Zellmaschinerie sowohl funktionelle als auch informationsvermittelnde Eigenschaften gleichzeitig benötigt werden, findet man RNA-Moleküle. Es gibt keinen Grund zu der Annahme, daß dies in der Frühzeit des Lebens anders war. Ebensowenig hat man Anlaß zu glauben, daß Informationen jemals in einer anderen als der heute üblichen Form gespeichert und durch irgendeinen unbekannten Prozeß erst auf die Nucleinsäuren übertragen wurden."[146]

146 M. Eigen/W. Gardiner/P. Schuster/R. Winkler-Oswalitsch, Ursprung der genetischen Information, a. a. O., S. 64 f.

4. Biotische Evolution

Als Fazit moderner Befunde zur präbiotischen chemischen Evolution und Biogenese ergibt sich: Im wässrigen Milieu der „Ursuppe“ existierte vor etwa 4 Milliarden Jahren eine große Mannigfaltigkeit präbiotischer Molekülkomplexe und Reaktionsnetze, von denen besonders die zur Autokatalyse und -reproduktion befähigten Systeme mit individueller Abgrenzung gegenüber ihrem Milieu evolutiv bevorteilt waren. Nur solche in der zunehmenden Konkurrenz um systemerhaltende Energie- und Nahrungsquellen sich durchsetzende Kompartimente schafften Anläufe zur biotischen Existenz. Die Rekonstruktion einiger Existenz- und Selektionsbedingungen in der präbiotischen Evolutionsphase verdeutlicht, dass ein breiteres Möglichkeitsfeld von Kodierungsprogrammen und Übertragungsmechanismen genetischer Information vorgelegen haben muss, als sich schließlich im heutigen Triplett-Aminosäure-Kode bei allen Organismen durchgesetzt hat.[147] Unter scharfen Selektionsbedingungen entstanden in verschiedenen Optimierungsprozessen präzelluläre Systeme, die mit ihren strukturell-funktionellen Parametern die für die biotische Existenz notwendigen Minimal- bzw. Grundvoraussetzungen mitbrachten: Autokatalyse des Stoffwechsels, systemerhaltende und -verändernde Reproduktion und Individualisierung.

Mit der Herausbildung des Bedingungsgefüges und der strukturell-funktionellen Bestimmtheit für den Übergang zum biotischen Strukturniveau konstituiert sich das *für die biotische Evolution grundlegende Bewegungsgesetz*, die *natürliche Auslese im Ringen der Organismen um ihre Existenz*, das aus dem grundlegenden *Widerspruchsgefüge zwischen der ziellos-zufälligen Systemänderung und der Erhaltung der Struktur in der Konkurrenz zwischen ähnlich optimierten Varianten* resultiert.[148] Im Erreichen des ersten, grundlegenden biotischen Evolutionszyklus entsteht gleichzeitig auch eine *neue Dimension und Systemqualität von Evolution*. Mit dem Übergang zu präzellulären und zellulären Systemen konstituiert sich eine *neue Qualität der Individualität* evolvierender Systeme, die auf der Basis der enormen *Variabilität in der Anordnung der molekularen Bausteine* begründet ist, die von einem *genetischen Programm gespeichert*, bei prinzipieller Erhaltung der Systemqualität variiert weitergegeben wird und zu einer *zunehmenden Plastizität der Merkmalsausprägung* (*Phänotyp*) gelangt.

Das Zusammenleben dieser Individuen in *Artpopulationen*, in denen sich die Individuen fortpflanzen und die als Systemqualität selbst wieder einem Feld von Variationen vieler Möglichkeiten entspricht, bringt eine bis dahin unvergleichliche *Varianz für die Evolutionsprozesse* mit sich. Die natürliche Auslese unterscheidet sich gegenüber abiotischen Selektionsvorgängen vor allem darin, dass sie einen „Zwei-

147 M. Eigen, Das Urgen, in: Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Nr. 243, Bd. 52, 1980.
148 Vgl. G. Bartsch (Hrsg.), Der dialektische Widerspruch, Berlin 1984, S. 125-155.

Schritte-Prozeß“[149] darstellt, der beginnend mit der ziellos-zufälligen Erzeugung der genetischen Variabilität, die in Frühphasen der biotischen Evolution stark mutationsabhängig ist, im „zweiten Schritt“ zur Ordnung dieser Variabilität führt, wobei die *Möglichkeitsfelder* von Generation zu Generation *neu konstituiert* werden und somit ständig *neue Tendenzen in der Evolution* entstehen.

Als drittes wesentliches qualitatives Moment biotischer Evolution soll gegenüber abiotischen Evolutionsprozessen die sich mit der weiteren Progression *verstärkende Selbstaktivität biotischer Systeme* (*Verhalten*) als Vermittlung zwischen Reizeinwirkung, Reizverarbeitung und Reaktion hervorgehoben werden, die zu einem wichtigen Faktor in der biotischen Evolution wird und wie alle anderen Evolutionsfaktoren dem evolutiven Wandel selbst unterliegt (*Evolution der Evolution*).[150]

Für die präbiotischen Systeme, die die Grundbedingungen der biotischen Existenz erfüllen, dank systeminterner Voraussetzungen zu der Lösung der sich jeweils neu konstituierenden Widersprüche zwischen Systemerhaltung und -veränderung befähigt zu sein, eröffnet sich ein weites Feld von Existenzmöglichkeiten, aus dem sich innerhalb der nahezu schon vier Milliarden Jahre währenden biotischen Evolution eine ungeheure *Vielfalt von Lebensformen* bildet. Davon sind heute noch über 1,5 Millionen Organismenarten auf der Erde vorhanden. Diese in den verschiedenen Entwicklungszyklen aus verschiedenen Möglichkeitsfeldern hervorgegangenen Organismen *koexistieren* in den Ökosystemen *auf verschiedener Organisationshöhe* miteinander.

Für den *Menschen*, der *als biotische Spezies der relative Höhepunkt progressiver Tendenzen in der Bioevolution* ist und als seine Entwicklungsgeschichte erkennendes Subjekt zu einer *neuen Systemqualität* von Evolution überleitet, sind schon aus zeitlichen Gründen die konkreten Stammesabläufe nicht unmittelbar zu beobachten.

Die Vielzahl von Organismen differenter Organisationshöhen, die in verschiedenen Zeithorizonten koexistierten und koexistieren, sind den lebenden Spitzen eines Korallenstockes vergleichbar, dessen genetischer Zusammenhang nicht sichtbar ist und der nur mittels Rekonstruktion der einzelnen Abschnitte erkundet werden kann. Dazu stehen uns vor allem die Spuren geologischer Ablagerungen, die in den einzelnen Schichten eingebetteten Fossilien und nicht zuletzt die rezenten Lebensformen zur Verfügung. Das umfangreiche Material, das bisher bereits über die stammesgeschichtlichen Zusammenhänge der gradweise abgestuften Mannigfaltigkeit des Lebens auf der Erde zusammengetragen wurde, legt eine evolutive Entstehung der Formen zwingend nahe. Der *Nachweis biotischer Evolution* wird somit *eher über den Gesamtzusammenhang* vermittelt und ist *nicht von einzelnen Details abhängig*, die relative Wahrheit der Erkenntnis ihres Verlaufs hat sich aber an den konkreten Rekonstruktionen der

149 E. Mayr, Evolution und die Vielfalt des Lebens, Berlin (West) – Heidelberg – New York 1979, S. 88.
150 Vgl. H. Hörz/U. Röseberg (Hrsg.), Materialistische Dialektik in der physikalischen und biologischen Erkenntnis, Berlin 1981, S. 299 ff.

einzelnen Taxa zu erweisen. Daraus ergibt sich die aus methodologischer Sicht für die Rekonstruktion biotischer Evolution wichtige *Unterscheidung der Frage nach dem Ob von Evolution von der des Wie ihres konkreten Verlaufs*. Beide Fragestellungen bedingen jedoch einander wechselseitig.

Das *Ziel der philosophischen Analyse* des umfangreichen Materials über die stammesgeschichtlichen Verhältnisse der Organismen besteht in diesem Abschnitt vor allem in der Charakteristik der wichtigsten Entwicklungszyklen biotischer Evolution und ihrer grundlegenden Möglichkeitsfelder, wobei die objektive Bedingtheit der aus dem breiteren Potential von Möglichkeiten realisierten Tendenzen zu den Haugruppen von Lebewesen rückwirkend aufgezeigt werden soll.

Neben den klassischen geologischen, paläontologischen, morphologisch-anatomischen Methoden konnten in den letzten Jahrzehnten durch die Molekularbiologie entscheidende Erkenntnisfortschritte über die realhistorischen Abstammungsverhältnisse verschiedener Taxa erzielt werden. Insbesondere die Analyse von Gensequenzen und -produkten ermöglichen weiteren Aufschluss über die evolutiven Wandlungen von Biomolekülen, ihre intramolekularen Wechselbeziehungen und ihre strukturelle Verwandtschaft.

Eine der dafür wichtigsten Forschungsmethoden besteht im Vergleich von Aminosäuresequenzen homologer Proteine. Dadurch konnte eine Reihe von Teilstammbäumen revidiert bzw. präzisiert werden. Die zum Vergleich ausgewählten unterschiedlichen ribosomalen RNS-Abschnitte (r-RNS) zeigen ein konservativeres Verhalten in der Evolution als die dynamischeren Proteine. Diese konservativen Strukturen, deren relative Invarianz sich auf Grund der Aufrechterhaltung systemerhaltender Funktionen im System der Zelle bzw. des Organismus ergibt, besitzen große Bedeutung für die Ableitung von stammesgeschichtlichen Beziehungen.

4.1 Vielfalt zellulärer Organisation

Die frühesten Phasen biotischer Evolution dürften etliche Millionen Jahre vor den *3,5 bis 3,8 Milliarden Jahren* alten ersten, bekannten fossilen Lebensspuren stattgefunden haben. Bei den *ersten Lebensformen* handelt es sich um *primitive einzellige Mikroorganismen* vom Typ der im Ergebnis präbiotischer Evolution entstandenen Urorganismen, deren Systemqualität durch eine breite Varianz vorwiegend heterotropher Stoffwechselwege, das Vorhandensein aller auch rezent anzutreffenden genetischen Bausteine und grundlegender biochemischer Mechanismen sowie relativ ungenauer genetischer Informationsübertragung mit verschiedenen Kodierungsvarianten der genetischen Information und einer einfachen Membranabgrenzung zum umgebenen Milieu charakterisiert werden kann.[151]

151 Vgl. U. Körner, Probleme der Biogenese, Jena 1978; H. Reinbothe/G.-J. Krauß, Entstehung und molekulare Evolution des Lebens, a. a. O.

Die allen rezenten, selbst einfachsten Virus- und bakteriellen Organisationsformen gemeinsame Charakteristika, wie der Triplettkode der Aminosäureverschlüsselung, die komplexen Mechanismen zur relativ fehlerarmen Transkription der genetischen Information in Proteine über r-RNA und t-RNA-gebundene Translationsprozesse, die generischen Kontrollmechanismen oder die spezifischen Membranstrukturen haben sich erst im weiteren Prozess biotischer Evolution aus diesem basalen Möglichkeitsfeld des „Urzelltyps" gebildet. Von diesem als „*Progenoten*" (*V. R. Woese*) bezeichneten primitiven Zelltyp gehen nach neueren Befunden *mindestens drei Evolutionswege* zu grundlegenden Organisationsformen zellulärer Existenz im Präkambrium aus: die prokaryotischen Eubakterien, die Archaebakterien und die Eukaryoten.

Die *Eubakterien* sind prokaryotische Zellen (Procyten), die ein relativ homogenes Zellplasma ohne abgegrenzte Stoffwechsel- bzw. Energiewechsel-Reaktionsräume aufweisen und deren genetische Information in DNA-Molekülen enthalten ist, die sich unmittelbar im Zellplasma befinden[152]. Zu diesem Organisationstyp gehören die bis heute existierenden Cyanobakterien (früher als „Blaualgen" bezeichnet) sowie die große Mannigfaltigkeit Gram-negativer und Gram-positiver Bakterien mit ihrer Vielfalt an autotropher, heterotropher und möglicherweise auch mixotropher Ernährungsweise. Der Procytentyp verfügt über eine maximale Vermehrungsrate bei gleichzeitig minimaler Generationsdauer und einem relativ begrenzten Umfang der zu replizierenden genetischen Information. Der Anpassungsprozess hängt bei diesem Zelltyp weitgehend von der Anzahl mutativer Veränderungen ab, die durch die hohe Generationenfolge pro Zeiteinheit zu einer hohen Varianz und Dynamik der Systeme führt.

Diese Systemeigenschaften besitzen auch alle rezenten Eubakterienstämme, wodurch ihre Evolutionsstrategie erfolgreich zur Besiedlung vieler ökologischer Nischen geführt hat. Es gibt kaum ein organisch-chemisches Substrat, das diese Organismengruppe nicht als Stoffwechselbasis zu nutzen vermag.

Ein zweiter Entwicklungszweig entsteht, wahrscheinlich mit den so genannten *Archaebakterien*,[153] eine seit längerer Zeit bekannte Bakteriengruppen, die vorwiegend unter extremen Existenzbedingungen leben und über ein den Eubakterien fast ebenbürtiges Spektrum stoffwechselphysiologischer Leistungen verfügen. Zu ihnen gehören chemoautotrophe anaerobe Methanbakterien mit allen auch rezent vorkommenden Formen, die vorwiegend die Bildung von Sumpf- und Erdgas bewirken, an der Biogasproduktion, am biologischen Abbau von Klärschlamm in Abwasserreini-

152 Vgl. R. Hagemann, Einführung in die Thematik der Evolution der eukaryotischen Zelle, in: Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Nr. 251, Bd. 56, 1982, S. 9-12.

153 Vgl. V. I. Duda, Archebakterii – novoe carstvo zivych organizmov, in: Priroda, 2/1984, S. 13; O. Kandler, Archaebakterien und die Phylogenie der Organismen. in: Die Naturwissenschaften, 4/1981, S. 183; W. Tröbner, Archaebakterien – das dritte große Reich der Organismen? in: Wissenschaft und Fortschritt, 12/1981, S. 470; C. R. Woese, Archaebakterien – Zeugen aus der Urzeit des Lebens, in: Evolution. Die Evolution von den ersten Lebensspuren bis zum Menschen, a. a. O.

gungsanlagen beteiligt sind und derzeit besonderes Interesse in der Biotechnologie finden. Ihre Lebensräume sind selbst noch Salzseen, heiße Solfatare oder brennende Kohleabraumhalden. Diese bisher nicht von den Eubakterien grundlegend unterschiedene Gruppe von Prokaryoten weist auf Grund neuerer Vergleichsdaten in der Zellwandzusammensetzung, der Struktur der Lipide, des Stoffwechsels und der entsprechenden Cofaktoren sowie in der Zusammensetzung der Schlüsselenzyme der Genexpression derart gravierende Unterschiede auf, dass auf ihren strukturell-funktionellen Spezifika eine eigene Entwicklungslinie aus dem Möglichkeitsfeld der unspezialisierteren Progenoten wahrscheinlich ist (siehe *Abb. 15*, siehe S. 379).

Zeitlich wesentlich später bildet sich ein dritter Zelltyp, die *eukaryotische Zelle*, heraus, die die Basisgruppe für alle mehr- und vielzelligen Organismengruppen in der biotischen Evolution darstellt. Zur Rekonstruktion ihrer phylogenetischen Herkunft sind die gegenüber dem prokaryotischen Zelltyp auftretenden strukturellen Unterschiede sehr wichtig, darunter folgende grundlegenden:

- Differenzierung des Zellplasmas in verschieden strukturierte Reaktionsräume und abgegrenzte Zellorganellen mit spezifischer genetischer Information;
- ein vom übrigen Zellplasma abgegrenzter Zellkern mit Chromosomen, auf die die informationstragenden DNA-Strukturen aufgelagert sind;
- ein Spindelmechanismus für die Verteilung der Chromosomen bei der Zellteilung bzw. Fortpflanzung auch die Modi von Mitose und Meiose zu beachten sind.[154]

Prokaryotische und eukaryotische Zellorganisation weisen aber eine Reihe unübersehbarer *Gemeinsamkeiten* in Grundprinzipen des Stoffwechsels, der Verschlüsselung der genetischen Information (Triplett-Aminosäure-Kode), der Grundstruktur des genetischen Materials und der Grundvorgänge der Umsetzung dieser genetischen Information in Proteinstrukturen auf, die *die Abstammung aus einem tieferliegenden Möglichkeitsfeld wahrscheinlich machen*. Das Fehlen jeglicher Übergangsformen zwischen Pro- und Eukaryoten kann bei den dürftigen Fossilbelegen aus dem Präkambrium keine unbedingt zwingende Folgerung sein, ein sukzessives Auseinanderhervorgehen beider Zelltypen auszuschließen. Eine Möglichkeit der Entstehung des eukaryotischen Zelltyps lässt sich aus der frühen Radiation der Archaebakterien in verschiedene, den damaligen Bedingungen früher Stadien der sich entwickelnden Erdoberfläche hochgradig angepassten Gruppen belegen, die in einer Entwicklungslinie zu einer Art „Urkaryotentyp" mündet und als Ausgangsbasis für die weitere Evolution kernhaltiger Zellen dient. Die strukturellen Ähnlichkeiten zwischen Kernplasma der Eukaryoten und genetischen Strukturen der Archaebakterien geben Anhaltspunkte für diese Möglichkeit. Zellen des urkaryotischen Entwicklungsniveaus, die dem Typ rezenter aerober Bakterien ähnlich sind, könnten *vor ca. 1,5 Milliarden Jahren* wesentlich kleinere prokaryotische Zeilen inkorporiert und somit bei ihnen nicht ausgebildete

154 Vgl. R. Hagemann, Einführung in die Thematik der Evolution der eukaryotischen Zelle, a. a. O.

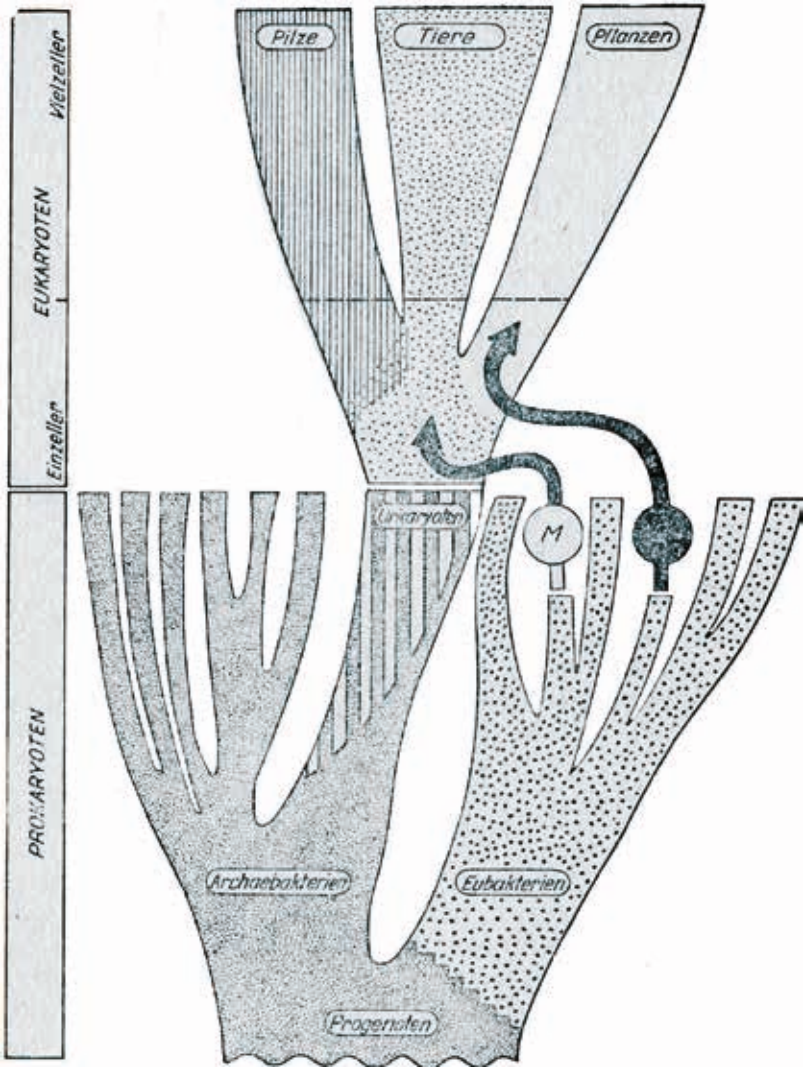

Abb. 15: Neuere Vorstellungen entsprechend kann der Nukleocytoplasmatis-Anteil (Urkoryt) der enkaryotischen Zelle von Archaebakterien begleitet werden. Allerdings stammen bei typischen Zellorganellen wahrscheinlich von der Symbiose über eubakterielle Zellen. M: Mitochondrien; C: Chloroplasten

Stoffwechselvarianten „erworben“ haben, wie es die Endosymbionten-Hypothese annimmt.[155]

155 Vgl. L. Margulis, Symbiosis in Cell Evolution, San Francisco 1981.

Über längere Zeiträume entstehen nach dieser Hypothese zwischen „Wirtszellen" und den inkorporierten „Gastzellen" symbiotische Beziehungen, die auf Grund der Vorteile für den Stoffwechsel der jeweils anderen Leistungen beider Zellen zu einer dauerhaften immer engeren Verbindung werden. In diesem Ausbildungsvorgang sich fixierender Abhängigkeiten verlieren die inkorporierten Endosymbionten zunehmend ihre Selbständigkeit durch kontinuierliche Reduktion ihrer Genome. Mit der Übernahme der DNA-Moleküle vom Wirtsorganismus entstehen die Voraussetzungen für ein selbständiges Funktionieren der aufgenommenen Bestandteile und die Spezialisierung zu Zellorganellen wie Mitochondrien und Chloroplasten.[156] Die teilweise Regression von kleineren, früher in der Evolution entstandenen prokaryotischen Zellen mit ihren verschieden ausgebildeten Stoffwechselwegen eröffnen somit den voluminös größeren karyotischen Formen ein neues Möglichkeitsfeld und erhöhte Evolutionsgeschwindigkeit.

Evolutive Veränderungen vollziehen sich *als Umwandlung*, *durch Neuerwerb und/oder Reduktion vorhandener Merkmale und Verhaltensweisen* von Organismen gegenüber ihren Vorfahren. Die morphophysiologische Regression eines Merkmals oder Merkmalsmusters ist fast immer mit der Regression eines anderen verbunden, d. h. *Verlust und Gewinn* liegen bei den Prozessen evolutiver Änderungen in allen Zeitabschnitten eng beieinander bzw. bilden ein *in sich widersprüchliches Wechselverhältnis*. Jede Anpassung der Lebewesen an die ihre Existenz bedingenden Umweltverhältnisse setzt die spezifische Ausprägung bestimmter Systemeigenschaften im Zusammenhang mit der Regression anderer voraus.

Die Entstehung regressiver Tendenzen in allen Möglichkeitsfeldern und den verschiedenen Organisationsniveaus des Lebenden bedingt deshalb aber *keine allgemeine Regression biotischer Evolution*.[157] Selbst bei ungünstigsten Bedingungen für die Existenz der Lebensformen oder einzelner Gruppen, die beispielsweise mit dem verstärkten Auftreten des als Zellgift wirkenden freien Sauerstoffs in der Erdatmosphäre oder der generellen Neuverteilung von Land- und Meergebieten während größerer Gebirgsbildungen gegeben sind und zu einer starken Retardierung der entstandenen Formenmannigfaltigkeit führen, entstehen in den Restpopulationen auch neue Progressionstendenzen, von denen die weitere Evolution profitiert.

Das Möglichkeitsfeld bei den verschiedenen Prokaryoten mit autotrophem oder heterotrophem Stoffwechsel ist breit genug, dass eukaryotische Urformen die kleineren Procyten inkorporieren können, die dann relativ retardiert als Subsystem im jeweils umfangreicheren fungieren. Die Entstehung der Chloroplasten bei rezenten Grünalgen und

156 Vgl. P. Sitte, Die Endosymbionten-Hypothese – eine kritische Betrachtung zur Zell-Evolution, in: Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Nr. 251, Bd. 56, 1982, S. 41-58.
157 Vgl. C. Schemmel, Reduktion, Kompensation und Neuerwerb im Evolutionsprozeß, in: Regressive Evolution und Phylogenese, Hamburg – Berlin (West) 1984.

allen höheren Pflanzen hat sehr wahrscheinlich über solche Einschlüsse stattgefunden.[158] Die exogene Herkunft von Chloroplasten ergibt sich aus dem vorliegenden Datenmaterial des Vergleichs relativ konservativer Nukleinsäure- und Proteinstrukturen mit höherer Wahrscheinlichkeit als die phylogenetische Herkunft von Mitochondrien auf gleichem Wege. Diese Zellorganellen verfügen über eine wesentlich größere Varianz in ihrer Genomgröße, Genanordnung und -struktur, was die Rekonstruktion von Tendenzen aus vorgelagerten Möglichkeitsfeldern erschwert. Die bisherigen Ergebnisse von Sequenzanalysen lassen erhebliche Unterschiede zwischen den Mitochondrien aus tierlichen, pflanzlichen und Pilzzellen erkennen, wodurch nicht unbedingt andere Mechanismen – wie die endogene Kompartimentierung zu Mitochondrien geführt haben müssen, da auch mehrmalige Inkorporationen von verschiedenen prokaryotischen Linien als Ursachen dieser Variabilität möglich sind.

Die komplexe Symbiose des rezenten Einzellers Mixotricha paradoxa, der als Gast bei bestimmten australischen Termiten lebt und selbst wieder Wirt für mehrere Eubakterien-Arten ist, kann als „lebendes Modell" einer solchen Einbeziehung prokaryotischer Symbionten in die eukaryotische Zelle angesehen werden. Bei der als Symbiont in Blaualgen (Cyanobakterien) lebenden Cryptomonade Cyanophora paradoxa, die bereits durch diese Lebensweise ihre Zellhülle verloren hat, findet inzwischen eine mit der Wirtszelle synchrone Zellteilung statt und ihre DNA gleicht der frei lebender Cyanobakterien.

Obwohl dem Vorgang der Inkorporation prokaryotischer Zellen in Urkaryoteypen auf Grund von Ergebnissen aus dem Vergleich molekularer Strukturen zwischen koexistierenden Organismen unterschiedlicher Entwicklungshöhe höhere Wahrscheinlichkeit zukommt, reichen diese Daten noch nicht aus, um die Möglichkeit auszuschließen, dass Eukaryoten aus älteren, mit Atmung und Photosynthese ausgestatteten prokaryotischen Zelltypen durch Differenzierungen von Membranstrukturen und deren selbständige zellinterne Weiterentwicklung entstanden sind (Hypothese der endogenen Kompartimentierung)[159]. Bei einer endogenen Kompartimentierung müsste eine größere Ähnlichkeit zwischen den Genen der Zellorganellen und denen des Zellkerns nachweisbar sein.[160]

Bei der Varianzbreite biotischer Evolutionsprozesse können die gravierenden Unterschiede zwischen pro- und eukaryotischen Zellorganisation auch über andere Vorgänge abgelaufen sein, die als Tendenzen in den Möglichkeitsfeldern enthalten

158 Vgl. R. Hagemann/R. Piechocki, Revolutionierende Erkenntnisse über die Evolution der eukaryotischen Zelle durch den Vergleich homologer Gensequenzen, in: Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Nr. 251, Bd. 56, 1982, S. 59-72.
159 Vgl. H. H. Mahler, Der nicht-symbiontische Ursprung der Mitochondrien (Hypothese einer endogenen Compartimentierung), in: Nova Acta Leopoldina, Neue Folge. Nr. 251, Bd. 56, 1982, S. 25-40.
160 Vgl. B. Parthier, Der Beitrag der Molekularbiologie zur Evolutionserkenntnis, a. a. O., S. 14.

waren. Die mit der Proteinstruktur bei Prokaryoten kolineare Genomstruktur kann auch durch die Einschaltung von Nukleinsäureabschnitten sekundär zu der in Exons und Introns unterteilten Genomstruktur der Eukaryoten geführt haben.

Die zwischen den zu transkribierenden Einheiten (Exons) geschalteten Introns können aber bei der prokaryotischen Entwicklungslinie eliminiert worden sein, während sie bei der eukaryotischen erhalten blieben.[161] Die Entwicklung der drei grundlegenden Organisationstypen zellulärer Systeme mit ihren qualitativen Unterschieden kann das Ergebnis schneller Wandlungen in der Evolution mit entsprechenden Anpassungen sein.[162] Aus der Basisgruppe von Urzelltypen (Progenoten) könnte auch eine längere monophyletische Phase von Prokaryoten hervorgegangen sein, von der sich später Archaebakterien abspalteten, die bei ihrer weiteren Radiation neben anderen Linien eine zu Urkaryoten tendierende Möglichkeit realisierten.[163] Der Vergleich mit Ergebnissen aus der molekularbiologischen Sequenzanalyse wird künftig bei der Feststellung, welche Tendenzen aus den Möglichkeitsfeldern zum Durchbruch gekommen sind, sicher hilfreich sein. Allerdings sind bei diesen Rekonstruktionen nichts anderes als Wahrscheinlichkeitsaussagen zu erwarten, da nicht die ganze Möglichkeitsfeldvarianz rekonstruiert werden kann und einzelnen Merkmalen unterschiedliche Bedeutung zukommt. Je mehr Möglichkeitsfelder zwischen bestimmten Merkmalsausbildungen liegen, desto schwieriger wird die Merkmalsableitung, da sich Sequenzen für bestimmte Merkmale als Prädispositionen im Genom aus weit zurückliegenden Möglichkeitsfeldern erhalten haben und erst bei entsprechenden Umweltkonstellationen ausgeprägt haben können.

Bereits im Verlaufe dieser zu den Grundtypen organismischer Existenz führenden Evolutionsprozesse vollzieht sich die Wechselwirkung von *progressiven Evolutionstrends* mit hohem Adaptionswert wie der pro- und der eukaryotische Zelltyp und *stagnativen sowie regressiven Trends.* Die Regression der einen Gruppe kann, wie aus der Inkorporation von prokaryotischen Zellen in eukaryotische deutlich wird, zu neuen, kräftigen *Evolutionsschüben* bei anderen Gruppen führen.

Die im Vergleich zu den einfachsten Prokaryoten noch wesentlich einfacher gebauten Viren, die keinen eigenen Stoffwechsel besitzen und zur Replikation ihrer Nukleinsäuren der Syntheseleistungen ihrer Wirtszellen bedürfen, sind wahrscheinlich einem regressiven Trend folgend aus der Reduktion eines Zellgenoms oder Teils eines solchen entstanden. Gleichzeitig bestanden auch andere Möglichkeiten. Nukleotidbasenhomologien zwischen den Nukleinsäuren und die genetische Akzeptanz der Wirt-

161 Vgl. W. F. Doolittle, Revolutionary Concepts in Evolutionary Cell Biology, in: Trends in Biochemical Science, 6/1980, S. 146-149.
162 Vgl. C. R. Woese/G. E. Fox, The Concept of Cellular Evolution, in: Journal of Molecular Evolution, 1/1977, S. 1-6.
163 Vgl. L. M. van Valen/V. C. Maiorana, The Archaebacteria and Eukaryotic Origine, in: Nature, 1980, S. 248-250.

szenen zur Integration der Virusgenome sind Belege für die stammesgeschichtlichen Beziehungen zwischen den verschiedenen Virusformen und Zellorganisationstypen.[164]

Der schon volumenmäßig größere eukaryotische Zelltyp verfügt gegenüber dem prokaryotischen über eine Reihe von strukturellen Weiterungen, deren funktionelle Möglichkeiten zu mehreren Evolutionsvorteilen führen. Die gesteigerte Variabilität der Eucytengenome wird nicht sehr wie bei der Procyte von einer hohen ziellos-zufälligen Mutationsrate bei schneller Generationsfolge gesteuert, die eine hohe Instabilität des Systems mit sich bringt und über Reparaturmechanismen ausgeglichen wird, sondern die Mutationen werden mit der Existenz von jeweils zwei homologen Chromosomen (Diploidie) und mit der Entstehung der Sexualität durch die Rekombination des genetischen Materials erheblich in ihrer Wirkung potenziert. Diese *strukturellen Wandlungen* bedingen zugleich eine *modifizierte Wirkungsweise der Mutations-Selektions-Mechanismen*, indem zur *mehrfaktorellen Bedingtheit der Variabilität der Genome* übergegangen wird.

Der eukaryotische Zelltyp entwickelt im Verlaufe seiner Diversifikation zu einer Vielfalt höherer Organismentypen über strukturell-funktionelle Mechanismen der Genstruktur, -regulation und Informationsübertragung eine außerordentliche Variabilität der Genome, epigenetischen Vorgänge und Differenzierungspotenzen, deren Ausmaß wir heute erst andeutungsweise erkannt haben.[165] Die Formen- und Strukturmannigfaltigkeit der Eukaryoten wird bereits durch die ältesten Fossilien dieses Zelltyps, z. B. den im südlichen Ural gefundenen Acritarchen (d. h. von unsicherer Herkunft) deutlich, die auf 1,6 bis 1,4 Milliarden Jahre datiert werden und eine weite Verbreitung in planktonischen Lebensgemeinschaften flacher bis mitteltiefer Meeresbecken erreichen.[166]

Die strukturell-funktionellen Vorteile der Eukaryoten schlagen sich in der Nischeneroberung nieder: Die Prokaryoten nutzen bereits das bodennahe (benthonische) Plankton als Nahrungsquelle und Lebensraum. Über den Stoffwechsel photosynthetisierender Cyanobakterien steigt die Sauerstoffkonzentration nach Sättigung des reduzierenden Milieus in den Flachwasserbereichen signifikant auf etwa zwei Prozent an. Die meisten der nur in Abwesenheit von Sauerstoff existierenden (anaeroben) Organismen sind an diese Sauerstoffkonzentrationen nicht adaptiert, müssen infolge des dadurch für sie entstehenden hohen Selektionsdrucks in andere Nischen ausweichen und sich den entsprechenden abiotischen Faktoren des neuen Lebensraumes oder den verändernden Bedingungen des gleichen Lebens anpassen. Für viele der im heterotrophen Stoffwechsel mit Enzymkomplexen für die Sauerstoffumsetzung ausgestatteten Eukaryoten ist dagegen die erhöhte Sauerstoffkonzentration keine existentielle Bedrohung.

164 Vgl. L. Kämpfe (Hrsg.), Evolution und Stammesgeschichte der Organismen, Jena 1985, S. 215 f.
165 Vgl. G. L. Stebbins/F. J. Ayala, Die Evolution des Darwinismus, in: Spektrum der Wissenschaft, 9/1985, S. 58-73.
166 Vgl. B. S. Sokolov, Vendskij period v istorii zemli, in: Priroda, 12/1984, S. 3-18; G. Vidal, Die ältesten Eukaryonten in: Spektrum der Wissenschaft, 4/1984, S. 46.

Vor etwa 900 bis 700 Mio. Jahren erhöhte sich dann die *Artenvielfalt und -zahl von Eukaryoten* im Zusammenhang mit *großen geologischen Veränderungen*. Beim Auseinanderbrechen der Urkontinente bilden sich flache, intrakontinentale Senken, in denen sich große Mengen von Sedimentablagerungen akkumulieren, die vom eukaryotischen benthonischen Plankton dieser Zeit als mineralische Nahrungsquelle massenhaft erschlossen werden und als wesentlicher abiotischer Faktor für die aus dieser Zeit nachweisbare explosionsartig zunehmende Formenmannigfaltigkeit eukaryotischer Einzeller gilt. Dieser Evolutionsschub in der Frühphase biotischer Evolution verdeutlicht die Wirkung veränderter Lebensbedingungen bzw. abiotischer Faktoren und Anpassungsvorgänge, die Ausbildung und Wandlung von Strukturen und „Verhaltensstrategien" in Abhängigkeit von der Reaktionsplastizität der Organismengruppen. Andererseits werden evolutive Veränderungen durch Veränderungen der Lebensräume oder Lebensweisen bedingt, weil das Überleben dieser Organismen als Populationen von der erfolgreichen Auseinandersetzung mit sich ändernden Bedingungen abhängt und zu Adaptionen führt.

Die *Modellierung der gesamten Genexpression*, die *Möglichkeiten größerer Genomvariabilität*, eine *wesentlich höhere Differenzierungspotenz*, die *Abnahme der direkten Umweltabhängigkeit* und die *Herausbildung der Sexualität* sind *entscheidende Evolutionsvorteile der Eucyte gegenüber der Procyte*, die als bedeutsamer „Erweiterungsschritt"[167] zu einer enormen Mannigfaltigkeit von neuen Prinziplösungen, in der Evolution zu einem *neuen Möglichkeitsfeld von echten Vielzellern* als Ausgangsbasis weiterer Evolutionszyklen genutzt werden.

Die phylogenetisch älteste, mit phytoautotrophem Stoffwechsel ausgestattete Eukaryotengruppe sind die rezenten „Geißeltierchen" ähnlichen Phytoflagellaten. Diese einzelligen Organismen, die sich bereits in eine geschlechtliche und eine ungeschlechtliche Phase ihres individuellen Lebens differenzieren, bringen während eines etwa 500 Millionen Jahre dauernden Diversifikationsprozesses verschiedene photoautotrophe, heterotrophe und möglicherweise mixotrophe Formen hervor, aus denen sich die Basisgruppen der zu den Pflanzen, Pilzen und Tieren führenden Protozoengruppen realisieren. Schon durch die Varanger-Vereisung vor ca. 650 Millionen Jahren wird die Organisationsvielfalt planktonischer einzelliger Lebewesen drastisch reduziert. Der mit der Vereisung entstandene Überfluss an mineralischen Nährstoffen, der auch eine erhebliche Eutrophierung der größeren Wasserbecken bewirkt haben dürfte,[168] führt zu einer großen bakteriellen Wasserblüte der verbliebenen Restpopulationen des wesentlich eingeschränkten Möglichkeitsfeldes. Gegen Ende dieser Vereisung stellen sich dann aber die ursprünglichen Nährstoffverhältnisse wieder ein und es kommt zu zahlreichen neuen Radiationen von eukaryotischen Lebensformen.

167 Vgl. H. Kuhn, Model Considerations for the Origin of Life, in: Die Naturwissenschaften, 1/1976, S. 68.
168 Vgl. G. Vidal, Die ältesten Eukaryonten, a. a. O.

Nicht alle der drei Basisgruppen, die zu Pflanzen, Pilzen und Tieren führen, verbuchen gleichen Erfolg in ihrer Evolution. Die Pilze beispielsweise, deren Genome bei Pigmentenzymen, Chloroplasten und weiteren Elementen retardiert sind, können zwar ihre Differenzierungspotenz zu mehrzelligen Geweben ausbauen, ohne aber die bei Pflanzen und Tieren entstandene Qualität der von Arbeitsteilung gekennzeichneten Vielzelligkeit zu erreichen. Pilze erschließen sich als Destruenten mit den Eubakterien bedeutende ökologische Nischen im Naturhaushalt.

4.2 Evolution der Pflanzen

Der *Entwicklungszyklus pflanzlicher Evolution* führt aus dem Möglichkeitsfeld eukaryotischer photoautotropher Phytoflagellaten[169] zur Diversifikation einer Vielzahl von Protozoengruppen unterschiedlicher Differenzierungsgrade, bei denen sich Entwicklungstendenzen zu einfachen Zellfäden gleichartiger Zellen und Zellkolonien mit ersten Schritten arbeitsteiliger Differenzierungen von Geschlechtszellen, zu regressiven amöboiden Typen mit Zellwandreduktionen und zu Gewebethalli ausbilden. Bei diesen wie bei allen vorherigen und nachfolgenden Evolutionsprozessen bleiben auch die weniger differenzierten, niederen Organismengruppen weiterhin präsent und koexistieren – soweit sie sich erhalten können – mit den anderen Organismenarten verschiedener Organisationsgrade in unterschiedlichen Lebensgemeinschaften.

Mit der „*Erfindung*" *des Zellkerns* und der *Ausbildung der Chromosomen* erhalten die Eukaryoten durch geschlechtliche Fortpflanzung einen *neuen Entwicklungsschub.* Bei der Differenzierung zu echten Geweben (Kormus) entstehen auch die geschlechtsdifferenten Sporen (Heterosporie), die in unterschiedlichen Formen von Geschlechtsorganen über wechselnde Generationen der Ausbildung von Geschlechtszellen erzeugt werden.[170] Die differenzierten Zellen (Gewebe) erfüllen als Subsysteme zunehmend Aufgaben im Gesamtsystem des Organismus, dabei wird von den Zellgruppen nur ein Teil der im Genom fixierten Möglichkeiten abgerufen. Trotz aller Spezialisierung bleibt in jedem Zellkern die Gesamtinformation für alle Aufgaben gespeichert (Totipotenz der Zellen).

Aus der Gruppe differenzierter Lagerpflanzen (Thallophyten) vollzieht sich über fossile Grünalgenformen der Übergang zu den Gefäß-Sporenpflanzen *vor etwa 450 bis 420 Millionen Jahren*, wobei das *Übergangsfeld* zeitlich bis an Frühphasen des Kambriums heranreicht.[171]

In dieser Zeit entsteht auf Grund der photosynthetischen Aktivität vieler ein- und mehrzelliger Algenformen, photoautotropher Eubakterien. und der Moose eine etwa *zweiprozentige Sauerstoffkonzentration auf der Erdoberfläche*. Die Ausbildung erster

169 Vgl. L. Kämpfe (Hrsg.), Evolution und Stammesgeschichte der Organismen, a. a. O., S. 227 f. und 289.
170 Vgl. ebenda, S. 239 ff.
171 Vgl. ebenda, S. 249.

Ozonkonzentrationen führt zu weitgehender Absorption der harten kosmischen Strahlung und schafft günstige Bedingungen für die Besiedlung weiterer Teile der Erdoberfläche als Biotope. Diese Voraussetzungen erweitern sich durch die Bildung einer Schicht von organischer Substanz, bestehend aus Bakterien und Cyanobakterien. Während des Proterozoikums sind dadurch die Voraussetzungen für den Übergang von Pflanzenformen zum Landleben gegeben.

Der blattlose Pflanzenkorpus der Psilophyten, deren bekanntester Vertreter die rezente Gattung Rhynia der Goetheschen „Urpflanze" nahekommt, veranschaulicht mit ihren primitiven Nährstoff- und Wasserleitungskanälen (Leitbündel) mit Stützfunktionen und mit einer Epidermis, die Spaltöffnungen zur Verdunstungsregulation besitzt, modellhaft die strukturell-funktionellen Mindestanforderungen an eine Pflanze beim Übergang zum Leben in einem solchen extremen Bedingungsgefüge des *Landes.* Mit der Eroberung dieses *neuen Biotops vor ca. 400 Millionen Jahren* setzen auch verschiedene Richtungen der Ausprägung von Möglichkeiten der eukaryotischen Differenzierungspotenzen mit morpho-physiologischen Anpassungen zu einem höheren Organisationsniveau ein (siehe *Tabelle 4*; siehe S. 387/388). Die entscheidenden Fortschritte werden bei der Regulation des Wasserhaushalts, der Ausbildung von Wurzelsystemen mit Verankerungs-, Wasser- und Nährstoffaufnahmefunktion, von Festigungs-, Stütz- und Leitungselementen sowie Differenzierungen im reproduktiven Bereich erzielt. Die neue Dimension der Leistungsfähigkeit pflanzlicher Systeme bei der Eroberung des Landes zeigen die üppigen Floren der Großfarne, Bärlappe und Schachtelhalme im Karbon, deren Biomasse als fossile Kohlenstoff-Energiequelle für den Menschen bis heute unverzichtbare Existenzbedingung ist.

Durch weitere Differenzierungen im reproduktiven Bereich entstehen die Samenpflanzen, deren verbesserte Nachkommensfürsorge, die Geschlechtsdifferenzierung gametentragender Organe eine Selbstbefruchtung einschränkt und damit über die genetische Neukombination die Variabilität pflanzlicher Genome steigert, was zu einer raschen Ausbreitung der verbesserten Samenpflanzen führt. Durch im Reproduktionsprozess auftretende Unschärfen wie unexakte Reduktionsteilung bei Geschlechtszellen, die zu vermehrten Chromosomenansätzen führen, oder durch Umlagerungen von beweglichen (transponiblen) DNS-Elementen im Genom[172] wird teils über Artgrenzen hinweg eine hohe Dynamik der Adaptionsvorgänge und geichzeitige Artenvielfalt erreicht.

Der *Übergang zur Samenbildung* hat sich ebenso wie die *Ausbildung sexuell differenter Sporen* (*Heterosporie*) *mehrfach und unabhängig voneinander* als prädisponierte Potenz aus den vorgelagerten Möglichkeitsfeldern der Lagerpflanzen und Gefäß-Sporenpflanzen ereignet; fossil belegt sind mindestens vier Samenbildungsübergänge zwischen dem Oberdevon und dem Ende des Perm.[173]

172 Vgl. E. Geißler, Movable DNA-Elements and Evolution, in: E. Geißler/W. Scheler (ed.), Darwin today, Berlin 1983.
173 Vgl. L. Kämpfe (Hrsg.), Evolution und Stammesgeschichte der Organismen, a. a. O., S. 265 f.

Geol. Ära	Geol. Periode		Geol. Epoche	Numer. Alter	Dauer	Entwicklung des Lebens
Kanozoikum	Quartär (Anthropogen)		Holozän (geol. Gegenwart)	0,02	0,02	Rezente Pflanzen- und Tierwelt; Entwicklung des Menschen; Einfluß des Menschen auf die Pflanzen- und Tierwelt
			Pleistozän	1,5 ± 5	1,5 - 2	
	Tertiär	Neogen	Pliozän	12 ± 1	10	Entfaltung der Blütenpflanzen; Nacktsamer; Braunkohlenwälder; Entfaltung der Säugetiere (u. a. Beutetiere, Raubtiere, Unpaarhufer, Paarhufer, Halbaffen); Krokodile, Schildkröten, Eidechsen, Schlangen zahlreich, Vögel seltener
			Miozän	26 ± 1	15 - 17	
		Paläogen	Oligozän	37 ± 2	11 - 13	
			Eozän	60 ± 2	19 - 20	
			Paläozän	67 ± 3		
Mesozoikum	Kreide		Oberkreide	110 ± 3	46 - 48	Erste Blütenpflanzen; Saurier, Belemniten und Ammoniten sterben aus; Beuteltiere, Insektenfresser
			Unterkreide	137 ± 5	22 - 24	
	Jura		Malm	170 ± 5	35 - 40	Nacktsamer, Farne; gewaltige Sauriere; Flugsaurier und Vögel treten auf; Ichthyosaurier, Krokodile, Schildkröden; Säugetiere (Kleinraubtiere, Insektenfresser); Ammoniten, Belemniten
			Dogger und Lias		15 - 20	
			Unterkreide	195 ± 5		
	Trias		Keuper	205 ± 5	10 - 15	Nacktsamer, Kalkalgen; Saurier, Amphibien, Fische, erste Säuger
			Muschelkalk und Buntsandstein		20 - 25	
Paläozoikum	Perm		Zechstein	230 ± 10	30 - 35	Nadelbäume, erstmalig Gingkogewächse; Aussterben niederer Gefäßpflanzen sowie von Trilobiten, altertümlichen Stachelhäutern und Brackiopoden; Reptilien
			Rotliegendes	260 ± 10	20 - 25	
	Karbon		Oberkarbon	285 ± 10	25 - 30	Entfaltung der Gefäßkraptogamen (Bärlappe, Farne, Schachtelhalme); Farnsamer, erste Nacktsamer
			Unterkarbon	310 ± 10	35 - 40	
				350 ± 10		

Tabelle 4 : Gliederung der Erdgeschichte (Zahlenangaben in Millionen Jahren)

Geol. Ära	Geol. Periode	Geol. Epoche	Numer. Alter	Dauer		Entwicklung des Lebens
Paläozoikum	Devon	Oberdevon	365 ± 10	15 - 20	Phanerozoikum	Psilophyten, Bärlapp- und Schachtelhalmgewächse, Farne, Süßwasserfische, Amphibien und ungeflügelte Insekten auf dem Festland, Graphtolithen sterben im Unterdevon aus
		Mittelevon	385 ± 10	15 - 20		
		Unterdevon	405 ± 10	15 - 20		
	Silur	Ober- und Untersilur	440 ± 10	35 - 45		Auftreten von Gefäßpflanzen (Psilophyten); riffbauende Korallen, Graphrolithen, Brackiopoden; Tribolithen gehen zurück; Agnathen, Fische
	Ordovizium	Ober-, Mittel- und Unterordovizium	500 ± 15	45 - 65		Grünalgen, Kalkalgen; erste Wirbeltiere (Agnathen), Korallen, Muscheln, Haarsterne, Seeigel, Kieselschwämme
	Kambrium	Oberkambrium	530 ± 15	25 - 30		Algen; Graphtolithen, Trilobiten, Ostracoden, Brachiopoden, Bryozoen, Schnecken, Tintenschnecken
		Mittel- und Unterkambrium	570 ± 15	40 - 50		
Proterozoikum	Oberes Proterozoikum (Riphäikum)	Vend	650 ± 50	80 - 120	Präkambrium	Rot- und Grünalgen, blaugrüne Algen; Algenkolonien; autotrophe Flagellaten; Hohltiere, Mollusken, Ringelwürmer, Gliederfüßer
		Oberes Riphäikum	950 ± 50	250 - 350		
		Mittleres Riphäikum	1350 ± 50	350 - 450		
		Unteres Riphäikum	1500 ± 50	200 - 300		
	Unteres Proterokum		2600 ± 100	900 - 1100		Bakterien, Blaualgen, Kieselalgen, Kalkalgen, Protozoen
Archäozoikum			über 4000	über 1400		Bakterien, Blaualgen

Tabelle 4 : Gliederung der Erdgeschichte (Zahlenangaben in Millionen Jahren)

Die Samenfortpflanzung bringt im Kontext weiterer Differenzierungsfortschritte der Hauptorgane auch die entscheidenden Voraussetzungen für die entstehende ökologische Dominanz. Durch die Samenbildung kann der ökologische Engpass überwunden werden, der bei der Spermatozoidenbefruchtung der Gefäß-Sporenpflanzen durch die Abhängigkeit von freiem atmosphärischem Wasser besteht. Die luftverbreitungsfähigen Mikrosporen und verschiedene Verbreitungsarten durch Tierarten bedingen eine starke Ausbreitung der Samen, die zudem den Schutz der embryonalen Jungpflanzen und ihrer Nährstoffversorgung bis zur eigenen Photosyntheseleistung mitbringen. Diese und weitere evolutive Vorteile ermöglichen den Samenpflanzen eine starke Ausbreitung in den sich ausweitenden Trockengebieten, die bis Ende des Paläozoikums massenhaft entstehen.

Die *Evolution einer Vielfalt von pflanzlichen und tierlichen Lebensformen wirkt auch der Wüstenbildung entgegen*, indem sich auf Grund ihrer Anpassungspotenz ständig neue Spezies in den entstehenden Nischen ansiedeln. Diese Vorgänge führen in den verschiedenen Erdregionen zu einer *enkaptischen Hierarchie koexistierender pflanzlicher Systeme* von unterschiedlichem Entwicklungsniveau und Ausbildungsgrad, die die *Voraussetzung für die zeitverschobene Tierevolution* sind (siehe *Tabelle 4*; siehe S. 387/388).

Ohne die „Vorreiter-Rolle" der Pflanzen wäre die an sekundäre Heterotrophie gebundene Existenz und Evolution der Tiere allein schon von den Ernährungsvoraussetzungen nicht möglich gewesen.

4.3 Evolution der Tiere

Während die Pflanzen im wesentlichen nur mit den Bedecktsamern (Angiospermen) ein hohes Entwicklungsniveau erreichen, vollziehen sich in der *Tierevolution in drei relativ separaten Entwicklungslinien* zu den Tintenschnecken (Cephalopoden), den Insekten und den Wirbeltieren (Vertebraten) *Anläufe zu hochorganisierten Lebensformen.* Ihren *Ausgang* nimmt dieser Entwicklungszyklus der Tiere *im multipotenten Möglichkeitsfeld photoautotropher eukaryotischer Einzeller* (*Phytoflagellaten*), aus denen in Übergängen zu heterotrophen und/oder vormixotrophen Formen[174] das *Basisfeld für die Tierevolution konstituiert wird.* Auch dieser Übergang zur heterotrophen Ernährung wird von der *regressiven Tendenz des Verlusts der Chloroplasten begleitet*, was den Zellen doch beim Vorhandensein einer entsprechenden organischen Nahrungsbasis die Existenzgrundlagen sichert. Fossile Funde und rezente farblose, heterotrophe Parallelformen belegen, dass in einer solchen Phase der Differenzierung der zur heterotrophen Ernährung *eingeschlagene Entwicklungsweg auch wieder abgebrochen* wird und Einkreuzungen die *Rückkehr zu autotropher Ernährungsweise* ermöglichen.[175] Solche

174 Vgl. ebenda, S. 289.
175 Vgl. M. Dzwillo, Regressive Evolution in der Phylogenese des Tierreichs, in: Regressive Evolution und Phylogenese, a. a. O., S. 120

zeitverschobenen Parallelentwicklungen zeigen die Möglichkeit in der Evolution auf, *über verschiedene Tendenzen zu bestimmten evolutionären Prinzip- oder Teillösungen zu kommen*, da bei der Konstituierung der Möglichkeitsfelder Tendenzen erhalten bleiben oder über andere Linien wieder eingekreuzt werden können.

Einigen der heterotrophen oder mixotrophen Einzeller gelingen über Zwischenstufen der Zellkoordination zunächst gleichartiger Zellen die Übergänge zum Vielzellerniveau mit arbeitsteiligen Zelldifferenzierungen, wofür die Volvox-Kolonien mit Differenzierungen in vegetative und generative Fortpflanzungszellen sowie Geißeln ein Modellbeispiel sind. Mit zweischichtigen Geweben etwa in Form *zweier Keimblätter* (*Ektoderm und Endoderm*), ergeben sich neue Voraussetzungen für arbeitsteilige Zelldifferenzierungen. Die Hohltiere stehen in ihrer Organisationstufe ziemlich am Anfang der *Metazoen-Organisation*, von diesen bilden sich besonders bei marinen Formen auch Aufspaltungen des Individualzyklus in ein im freien Wasser lebendes Larvenstadium und ein am Boden lebendes Erwachsenenstadium.[176]

Die freibeweglichen Larvenstadien erweitern ihren Lebensraum, indem sie über Ortsveränderungen neue Nahrungsquellen erschließen. Die *Beweglichkeit* verbessert sich durch eine Vielzahl von Geißeln bei Flagellaten, von Wimpern bei Infusorien, von Tentakeln bei Hohltieren und reicht bis hin zur schlängelnden Fortbewegung bei Würmern, zur Bildung von Beinen und Flügeln bei Insekten oder Extremitäten bei Wirbeltieren. Dies geht mit speziellen Bildungen von Festigungsgeweben und der Ausbildung eines Muskelsystems einher, das eine schnelle Fortbewegung auf dem Lande gestattet. Die Entwicklungstendenzen zur *Differenzierung optimaler Fortbewegungsarten* werden erst im Kontext von koordinierten Stützsystemen, Informationsaufnahme-, -verarbeitungs- und -speicherungsystemen möglich. Derartige strukturell-funktionelle Differenzierungen setzen bereits bei den ersten Vielzellersystemen ein und werden dann in der weiteren Tierevolution ausgebaut.

Zu *Beginn des Kambriums*, *vor etwa 570 bis 550 Millionen Jahren*, kommt es im Zuge der zweiten großen Gebirgsbildung zu einer *Neuverteilung von Festland und Meer*, die schließlich für die meisten im Wasser lebenden Organismen katastrophale Folgen hat. Restpopulationen finden in neu entstandenen Flachwasserregionen und Uferzonen viele freie Biotope. In dieser Zeit wärmeren Klimas und der großflächigen Eroberung des Festlandes durch Bärlappe, Schachtelhalme und Farne mit ihrer hohen Produktivität von Biomasse vollzieht sich durch mannigfache Lebensformen eine neue Qualität der Erdbesiedelung, die zu einem die Erde verändernden geologischen Faktor wird.[177] *Bioevolution* wirkt ein weiteres Mal auf die *Geoevolution* zurück.

In diesen frühen Phasen des Kambriums sind auch die grundlegenden Baupläne der fossilen und rezenten *Tierstämme mit Möglichkeitsfeld von 60 bis 70 Grundbauplänen*

176 Vgl. G. Jägersten, Evolution of the Metazoen Life Cycle, London – New York 1972.
177 Vgl. B. V. Timofeeff-Ressovsky/N. N. Voroncov/A. N Jablokov, Kurzer Grundriß der Evolutionstheorie, Jena 1975, S. 52.

angesiedelt.[178] Allerdings werden dafür zahlenmäßig sehr viel kleinere Populationen mit geringerer geographischer Verbreitung angenommen, deren Speziation dann zu großer Formenmannigfaltigkeit geführt hat. Bereits im Kambrium sind entsprechend den paläontologischen Befunden mit Ausnahme von Chordatieren und daraus entwickelten Formen Vertreter aller anderen Tierstämme im Fossilhorizont zu finden.

Eine *Schlüsselrolle* für die arbeitsteiligen Differenzierungen und Spezialisierungen zu echten Geweben und Organen spielt die *Ausbildung einer sekundären Leibeshöhle* (*Coelom*). Mit der Entstehung eines *dritten Keimblattes* (*Mesoderm*) neben dem Ekto- und dem Endoderm sind Voraussetzungen für die funktionsspezifische Differenzierung innerer Organe geschaffen. Die Rekonstruktion der Phylogene der Organismengruppen lässt bei vielen schnellen Grunddifferenzierungen während der Anpassung an sich verändernde Umweltbedingungen eine deutliche Tendenz der Leistungssteigerung, Ökonomisierung und Komplizierung erkennen. Diese Zwänge werden vor allem im Zuge der zunehmenden Einengung vorhandener Nischen verschärft. In Phasen der Entstehung grundlegender evolutiver Neuheiten und der Erschließung neuer Lebensräume bei relativ geringer zwischenartlicher Konkurrenz bestehen derartige Zwänge seltener.

Im *Selektionsprozess* wird der *Anpassungswert* jedes Individuums im Vergleich mit anderen bewertet, wobei sich der durchschnittliche Fortpflanzungserfolg aus der Gesamtwirkung aller Eigenschaften ergibt. Nicht jedes vorhandene bzw. neuentstandene Merkmal hat sich dabei den Zweckmäßigkeitskriterien zu beugen und unterliegt deshalb auch nicht notwendigerweise dem direkten Zugriff der Selektion so wie das Gesamtsystem des Organismus.[179] Die Systemstabilität des Organismus wird bei der Entstehung und Erhaltung von Prädispositionen und Merkmalen mit unbedeutendem Selektionswert aufrechterhalten. Erst wenn sich die Selektionsbedingungen ändern, die Organismen in andere adaptive Zonen überwechseln und Prädispositionen im Phänotyp manifest werden, kann sich diese Situation drastisch ändern. Die gravierenden geologischen Milieuänderungen im Kambrium bedeuten für die meisten der im Wasser lebenden Organismen eine Umstellung auf teils extrem geänderte Lebensräume, die auch Anpassungen in größerem Umfang erfordern.

Aus Urformen der Coelomtire (Archicoelomaten) setzt eine Differenzierung ein, die zu *zwei größeren Teilzyklen der Tierevolution* führt. Ein *Zyklus* (*Protostomier-Linie*) verläuft über Plattwürmer, segmental gegliederte Ringelwürmer, Weichtiere (Mollusken) und Gliedertiere (Articulaten). Bisher gibt es allerdings in Abhängigkeit von dem für die phylogenetische Rekonstruktion zugrunde gelegten Merkmale unterschiedliche Hypothesen über die stammesgeschichtlichen Verbindungen. Die Ringelwürmer können mit ihrer mehrfachen Körpergliederung und den segmental angeordneten

178 Vgl. G. Breuer, Zellevolution in neuem Licht, in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 1/1986, S. 36.
179 Vgl. C. Schemmel, Reduktion, Kompensation und Neuerwerb im Evolutionsprozeß, in: Regressive Evolution und Phylogenese, a. a. O., S. 15.

Organen als hoher Ausbildungsgrad einer von Platt- oder Rundwürmern begonnenen Differenzierung angesehen werden. Die wurmförmige Körpergestalt folgt aber auch auf Grund des ursprünglichen Wasserlebens hydrostatischen Bauprinzipien. Legt man diese für die phylogenetische Rekonstruktion zugrunde, dann können die segmentierten Formen der Ringelwürmer als Basisformen angesehen werden, aus denen durch Verstärkung der Längsmuskulatur eine größere Stabilität des Körper-Muskel-Schlauches erreicht wird, weshalb sich die querwandige Segmentierung erübrigt und reduzieren kann.[180] Hieraus ist ersichtlich, dass die phylogenetische Rekonstruktion zu Stammbäumen einzelner Entwicklungslinien besonders dort problematisch wird, wo keine eindeutige Entscheidung über eine ursprüngliche oder abgeleitete Herkunft von Merkmalen erbracht werden kann bzw. noch keine ausreichenden Informationen zur Angabe von Übergangswahrscheinlichkeiten aus den Möglichkeitsfeldern vorliegen. Die Methoden der molekularbiologischen Sequenzanalysen können im Kontext der Ergebnisse traditioneller Methoden zu neuen Einsichten führen.

Zeitlich etwa parallel zur Annelidenentstehung bilden sich Weichtiere (Mollusken) in großer Mannigfaltigkeit (Muscheln, Schnecken, Tintenfische und Käferschnecken) (siehe *Tabelle 4*; siehe S. 387/388). Als einzige Molluskengruppe können die Lungenschnecken zum Landleben übergehen. Der Übergang vom Leben im Wasser an die extremen Lebensverhältnisse auf dem Land wird durch den Oberflächenschutz und durch die für Mollusken typischen großen Körperhöhlen erreicht, die die respiratorische Funktion für die Atmung an Land übernehmen können.

Der *Organisationsgrad der Tintenfische* stellt von dem anatomisch-funktionellen Gegebenheiten, ihrer Lebensweise und ihrer Ontogenese her einen *relativen Höhepunkt* in der Evolution dieses Teilzyklus dar. Mit der Bildung hochentwickelter Augen, mit Gehirnbildung und dessen Einkapselung, einem leistungsfähigen Bewegungsapparat (Tentakel) und entsprechenden Atem- und Kreislaufsystemen sind die Tintenfische oder Kopffüßer in ihren Lebensräumen weitverbreitet. Den 10000 ausgestorbenen Arten stehen etwa 700 rezente gegenüber.

Als artenreichster Tierstamm der rezenten Fauna gelten den mit etwa 1 Milliarden Arten in der Gesamtfauna präsenten Gliedertieren (Articulaten), aus denen mit den Gliederfüßern solche artenreichen Gruppen wie Spinnentiere, Krebstiere und Insekten auftreten, die im Zusammenhang mit der starken Ausbreitung der Landpflanzen günstige Lebensbedingungen finden. In großer Mannigfaltigkeit kommt es bei den Gliederfüßern in der Anpassung an das Leben auf trockenen Landgebieten zu Differenzierungen von Beinen und Flügeln, Mundwerkzeugen und Körperbedeckungen durch Chitin als „Festigungswerkstoff". Die noch bis zum Perm anzutreffende Tendenz zur Körpervergrößerung mit Großformen von Insekten bis zu 50 cm Flügelspannweite hat sich nicht durchgesetzt. Kleinere Körpergestalt dürfte vor allem mit der Evolution größerer Landwirbeltiere zu größeren Überlebenschancen geführt haben.

180 Vgl. W. Gutmann/K. Bonik, Kritische Evolutionstheorie, Hildesheim 1980.

Parallel zu dieser Entwicklungslinie beginnt *der von Urcoelomtieren ausgehende Zyklus*, *der zu den Chordatieren als Basisgruppe der Wirbeltiere überleitet*. Aus dem davorliegenden Möglichkeitsfeld zweigen sich die *Stachelhäuter* als eigenständige Gruppe ab, die eine *relative Sackgasse* der Evolution darstellt. Ihre Spezialisierung der fünfstrahligen Symmetrie hat ein solches Maß erreicht, dass die vorhandenen Tendenzen sich in einzelnen Spezialisierungsrichtungen erschöpfen und keine progressiven Tendenzen mehr zum Durchbruch kommen. – Zu beurteilen, ob es sich bei bestimmten Entwicklungswegen wirklich um Sackgassen handelt, hängt weitgehend vom Grad der vollzogenen Spezialisierung bzw. vom damit verbundenen Abbau der Differenzierungspotenzen ab.

Für die phylogenetische Entstehung der Chordatiere bestehen verschiedene Möglichkeiten. Eine Abstammung von trimeren Urcoelomtieren besteht auf Grund der Differenzierungsverhältnisse von Organanlagen. Bei funktionsbezogener Betrachtung können die Rückenmarktiere (Chordaten) auch von ungegliederten Rundwürmern abstammen, bei denen sich über Längsversteifungen der Rückenmarkskanal differenziert hat.[181] Diesen Grundbauplan haben auch die zu den Schädellosen gehörenden Lanzettfische, die als rezente Art mit Modellcharakter für die ursprüngliche Wirbeltierorganisation gelten.[182]

Mit der Evolution von Panzer-, Knorpel- und Knochenfischen besiedeln größere Gruppen der Wirbeltiere verschiedenste Biotope des marinen Bereichs vom Ordovizium an (siehe *Tabelle 4*; S. 387/388). In Abwandlungen vom Grundtypus der Wirbeltierorganisation können neben dem offenen Meer in verschiedenen Tiefenzonen selbst solche extremen Lebensräume wie Höhlen mit relativ geringem Nahrungsangebot und schlechten Lichtverhältnissen besiedelt werden. Die Anpassung an solche neuen Lebensbereiche erfolgt dabei weitgehend über progressive und regressive Tendenzen, die für die meisten Organe, soweit sie nicht zu stark spezialisiert, potentiell vorhanden sind. Durch die Reduktion der Schwimmblase kann beispielsweise die Sinkgeschwindigkeit erhöht werden, was für die am Meeresboden lebenden Formen wichtig ist. Eine solche Merkmalsänderung muss sich aber nicht im Genotyp manifestieren; viele bodenbewohnende Fischarten bilden während ihrer Larvenstadien normale Schwimmblasen aus, die erst später reduziert werden.

Die Abnahme der Lichtintensität und der Wasserbewegung von den Höhleneingängen bis zum Höhlenhintergrund haben beispielsweise direkten Einfluss auf die Adaptionen von Organen an diesen Biotop.[183] Bei einigen rezenten Schleimfischarten wirken sich die Veränderungen dieser abiotischen Faktoren in progressiven Anpassungen durch Vergrößerung der Augen und der Linsen, durch Verbesserung der Netzhaut zur optimalen Ausnutzung des Restlichts sowie Reduktionserscheinungen bei den Körperpigmenten aus.[184]

181 Vgl. ebenda.
182 Vgl. L. Kämpfe (Hrsg.) Stammesgeschichte und Evolution der Organismen, a. a. O., S. 342 f.
183 Vgl. R. Riedl, Biologie der Meereserhöhung, Hamburg – Berlin (West) 1966.
184 Vgl. C. D. Zander, Ökologische Faktoren und Regression, in: Regression und Phylogenese, a. a. O., S. 103.

Die gleichen abiotischen Faktoren führen allerdings nicht automatisch zu den gleichen Anpassungsreaktionen der Organe. Bei roten Höhlenfischen treten statt der Körperpigmentreduzierungen dunkele Pigmentierungen auf. Der Axolotl hat bei seiner Adaption an Höhlenverhältnisse mit dem Verschluss der Augen und starken Rückgang der Körperpigmente reagiert. Die beliebig zu erweiternden Beispiele von Anpassungsreaktionen durch progressive und/oder regressive Merkmalsveränderungen verdeutlichen, dass der Anpassungsvorgang nicht gerichtet (orthogenetisch) verläuft.

In der Gruppe der Knochenfische finden strukturell-funktionelle Adaptionspotenzen des Wirbeltypus ihre Realisierung im Übergang vom Wasser- zum Landleben. Dieser neue Biotop erfordert über den Einfluss abiotischer Faktoren tiefgreifende Anpassungen an die extremen Lebensbedingungen. Die Quastenflosser (Crossopterygii) realisieren mit ihren verlängerten Flossen eine Möglichkeit des Übergangs zu einer neuen Fortbewegungsweise auf dem Land, die auch neue Hebelwirkungen für das Skelett bewirkt.[185] Die bisher gefundenen Exemplare der Übergangsform, Vertreter der Art „Latimeria", haben Modellcharakter für eine ursprüngliche Organisation. Sie sind selbst aber keine rezente Form des ursprünglichen Typs im Süßwasser des Festlandes lebender Ahnen der Landwirbeltiere, sondern gehören einer regressiven Linie an, die über das Landleben ins Meerwasser übergegangen ist.[186] Die Gruppen der Wale haben ebenfalls über Jahrmillionen des Landlebens eine solche regressive Tendenz verwirklicht und sind seit ihrer Besiedlung des Meeres weit verbreitet. Die Eroberung eines neuen Lebensraumes mit den entsprechenden Anpassungen kann für die Organismen also auch bei der Rückkehr zu ursprünglichen Lebensräumen der Vorfahren von Vorteil sein.

Mit der *Besiedlung des Landes durch die Wirbeltiere* sind zahlreiche Konsequenzen für die Ausbildung bzw. Wandlung der Strukturen verschiedener Organe verbunden: die geringere Viskosität der Luft bringt die Kompensation neuer Lichtbrechungsverhältnisse mit sich, die geänderten Hebelverhältnisse bedingen veränderte Knochenstrukturen und Muskelsysteme, der Austrocknung muss mit Schutzeinrichtungen begegnet werden und auch die Umstellung der Atmung gehört zu den existentiellen Anforderungen an die Adaptionen an die neuen Lebensräume.

Die generellen Potenzen zur schrittweisen Anpassung selbst an diese Lebensverhältnisse haben sich aus den vorgelagerten Möglichkeitsfeldern erhalten, wobei die Totipotenz der Zellen eine wichtige Rolle spielt. Adaptive Veränderungen dieses Ausmaßes vollziehen sich in längeren Zeiträumen vor allem dadurch, dass vorhandene Organe zusätzlich neue Funktionen übernehmen, bisherige Hauptfunktionen zurücktreten bzw. aufgegeben werden oder aber Funktionen durch andere Organe substituiert werden.[187] Bei Quastenflossern haben die mit respiratorischen Funktionen

185 Vgl. G. E. Freytag, Vom Wasser- zum Landleben, Leipzig – Jena – Berlin 1976.
186 Vgl. ebenda.
187 Vgl. A. H. Sewertzoff, Morphologische Gesetzmäßigkeiten der Evolution der Tiere, Jena 1931.

auftretenden pneumatischen Darmanhänge unter den klimatischen Bedingungen des Lebens in Flachwassergebieten als unterstützende Hilfsorgane für die Sauerstoffrespiration in Uferzonen gedient. Auf Grund der regelmäßigen Eintrocknung von Flachwassergebieten wurde der Lebensraum dieser Gruppen eingeengt; der Sauerstoffmangel setzte auch die Kiemen periodisch außer Funktion, so dass diese lebensnotwendigen Funktionen mit anderen Mitteln ausgeglichen werden mussten Die sich differenzierende Lunge hat für die Luftaufnahme auf dem Land zunächst noch eine sekundäre Rolle gespielt. Bei rezenten Amphibien werden sie sogar reduziert und die Haut übernimmt vollständig die Atmung.[188]

Der differenzierte Übergang zu einer zweiten Phase der Landtierlunge wird durch die Ausbildung von Nasenhöhlenöffnungen (Choanen) und eines Bewegungsapparates in der Kehlkopf- und Mundregion noch während der räuberischen Lebensweise dieser Tiere vorbereitet.[189]

Die sich im Laufe der Wirbeltierevolution herausbildende *Typenvielfalt* entsteht vorwiegend *durch die Besiedlung verschiedenster Lebensräume.* Für die damit verbundenen Anpassungsprozesse sind die qualitativen Änderungen ursprünglicher Organfunktionen und -strukturen, im Zusammenhang mit Prädispositionen einer der Hauptwege in der Evolution höher organisierter Tierspezies. Organismen können für sie zweckmäßige Merkmale nicht zielstrebig auf ein zu erwartendes Ereignis anhäufen, sie können „sie langfristig gerichtet in einem Ausmaß, das weit über das statistische Mittel hinausgeht", speichern[190] bzw. als Prädisposition genetisch fixieren. Dadurch werden bei den Organismen im Sinne eines „*relativen Ziels*" Langzeitdepots in den Genomen angelegt, die im Verlauf der postmutativen Selektion die Gerichtetheit regulieren. Der relative Anpassungswert eines Individuums in seiner Population wird selektiv im durchschnittlichen Fortpflanzungserfolg aus der Gesamtwirkung aller im Kontext der Selektionsbedingungen wesentlichen Systemeigenschaften ermittelt. Eine solche *Bewertung der Gesamtfitness durch den statistischen Charakter der Selektion* verbietet eine isolierte Bewertung von Einzelmerkmalen nach der Zweckmäßigkeit und erklärt zugleich das Zustandekommen eines Langzeitdepots von Prädispositionen bzw. Merkmalen, die durch die Mutationen gespeist werden.

Wesentliche *Evolutionsschübe* zu neuen Entwicklungslinien gehen meistens von evolutiven Neuerungen bei der *Anpassung an veränderte Umweltbedingungen* oder beim *Wechsel der Organismen in diese* aus. Weniger spezialisierte Formen besitzen dabei auf

188 Vgl. M. Dzwillo, Regressive Evolution in der Phylogenese des Tierreichs, in: Regressive Evolution und Phylogenese, a. a. O., S. 125.
189 Vgl. I. I. Smal'gauzen, Proischoždenie nazemnych pozvonečnych, Moskva 1964; O. A. Lebedev, Pervye Četveronogie: poicki i nachodki, in: Priroda, 11/1985, S. 26-36; V. F. Sokolov/E. J. Vorob'eva, U istokov evoljucionnoj morfologii, in; Priroda 12/1984, S 63-65.
190 C. Schemmel, Reduktion, Kompensation und Neuerwerb im Evolutionsprozeß, in: Regressive Evolution und Phylogenese, a. a. O., S. 15.

Grund ihrer höheren Anpassungspotenzen Vorteile gegenüber sehr stark spezialisierten. Um solche Formen handelt es sich auch bei den hundegroßen Reptilienformen (Therapsiden), aus denen über andere Gruppen in den Pantotheria eine Basisgruppe für die Evolution der Säugetiere entstanden ist. In der Säugetierevolution kommt es zu verschiedenen Spezialisierungen bei höheren funktionellen Leistungen. Mit dem Bau des Schulter- und Beckengürtels wird eine neue Qualität der Fortbewegung ermöglicht und mit der Ausbildung der Placenta kann ein höheres Niveau in der vorgeburtlichen Nachkommensfürsorge realisiert werden.

Von der Gruppe der Insektenfresser leiten sich die *Primaten im frühen Tertiär vor ca. 70 Millionen Jahren* ab, aus denen sich das *Tier-Mensch-Übergangsfeld* konstituiert. In diesem Übergangsfeld vereinigen sich zahlreiche Tendenzen aus den anatomisch-morphologischen Strukturen, den Formen biosozialen Verhaltens, der Sexualität oder funktioneller Leistungen als breites biotisches Potential, aus dem die Spezies Mensch wesentliche biotische Voraussetzungen zum Übergang in die gesellschaftliche Existenz als qualitativ neue Bewegungsform mitbringt.

Analysiert man den *Gesamtverlauf biotischer Evolution* aus dem Möglichkeitsfeld chemischer und präbiotischer Phasen, so ist seit den Anfängen des Lebens vor etwa 3,8 Milliarden Jahren bis zur Jetztzeit eine *hyperbolische Zunahme der Artenmannigfaltigkeit* zu verzeichnen.[191] Während bis zur Entstehung erster Vielzeller aus präzellulären Systemen ungefähr 3 Milliarden Jahre vergingen, hat sich die enorme Mannigfaltigkeit von Tier- und Pflanzenarten in nur 700 Millionen Jahren herausgebildet. Diese sich potenzierende Dynamik im biotischen Evolutionsprozess, das „je höher, desto schneller", entsteht durch die *Verwirklichung mehrerer Tendenzen aus den Möglichkeitsfeldern*, wobei sich immer *neue Felder eröffnen und sich Möglichkeitsfelder exponentiell vermehren*. Mit den Übergängen zu weiteren Möglichkeitsfeldern werden bestehende Tendenzen *dialektisch aufgehoben* und durch Negation bestehender neue konstituiert, so dass im Erreichen der *Endqualität verschiedener Evolutionszyklen* sich *immer komplexere* herausbilden.

Durch die *Eingriffe des Menschen in die biotische Evolution* durch lange Traditionen der Kulturpflanzen- und Haustierzüchtung haben sich die Wandlungsgeschwindigkeiten teils erheblich verkürzt. Mit der *durch genetische Manipulierungsmethoden* entstandenen Möglichkeit zur Konstruktion neuer, in den natürlichen Prozessen biotischer Evolution bislang nicht verwirklichter Formen, *beginnt der Mensch*, *die Qualität seiner Wechselwirkung mit der Natur prinzipiell zu verändern.* Damit wird er vom *Nachahmer der natürlichen Evolution* nun auf der Grundlage erkannter Gesetze zumindest teilweise auch zum *Konstrukteur von Evolutionsprozessen.*

191 Vgl. U. Körner, Probleme der Biogenese, a. a. O., S. 101.

5. Anthropogenese

In der *Menschwerdung* (*Anthropogenese*), d. h. dem Prozess, in dem sich aus äffischen Ahnen der rezente Mensch – von den Zoologen und Anthropologen „Homo sapiens sapiens" genannt – entwickelte, vollzog sich der Übergang von der durch Evolutionsgesetzlichkeit des Lebenden bestimmten Daseinsweise der Organismen zur arbeitsfundierten Daseinsweise des gesellschaftlichen Menschen mit ihren spezifischen Entwicklungsgesetzen. Das *materialistische und dialektische Verständnis* dieses Übergangs erfordert eine *integrative Betrachtungsweise*, die mannigfaltige Faktoren, Zusammenhänge, Bedingungen und Voraussetzungen berücksichtigt und insbesondere die *Dialektik von Logischem und Historischem* meistert.

Angesichts der mit der wissenschaftlichen Rekonstruktion der Anthropogenese verbundenen vielfältigen Kontroversen ist es erforderlich, der sich ständig erneuernden *weltanschaulichen Bedeutung* der Frage nach Herkunft und Wesen des Menschen und ihres historisch-konkreten Verständnisses eingedenk zu sein. „Die Frage der Menschwerdung gehört zu jenen Fragen, die Weltbild und Auffassung vom Menschen und von der menschlichen Gesellschaft sehr stark berühren. Das war zur Zeit Darwins so und ist bis heute so geblieben. Es gibt in der Regel keine geradlinige Übernahme neuer Erkenntnisse zur Menschwerdung und zum Wesen des Menschen in das Weltbild und die Weltanschauung. Im Gegenteil, solche Erkenntnisse oder Teilerkenntnisse waren und sind häufig Gegenstand hartnäckiger Auseinandersetzungen zwischen den Ideologien der verschiedenen sozialen Schichten und Klassen und deren Vertretern, in erster Linie zwischen materialistischer Weltanschauung und den verschiedenen Varianten bürgerlicher und idealistischer Weltanschauung", konstatiert J. Herrmann.[192]

Diese Sachlage verlangt, den diffizilen Zusammenhängen zwischen Fakten, ihren Interpretationen in der Fachwissenschaft und den philosophisch-weltanschaulichen Kämpfen und Tendenzen Aufmerksamkeit zu widmen, die jeweils bestimmte historische Entwicklungsbedingungen und eigene Entwicklungswege haben. Die Auseinandersetzungen um Probleme der Menschwerdung sind besonders vielschichtig und kompliziert. Sowohl die Blindheit gegenüber der weltanschaulichen Dimension der Menschwerdungsproblematik, als auch die Fehlideologisierung unterschiedlicher und gegensätzlicher Standpunkte, Hypothesen und Konzepte unterhalb der weltanschaulich-ideologischen Ebene führt zu Orientierungen, die dem wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt und dem ihm dienenden Meinungsstreit abträglich sind.

Beim integrativen Herangehen an die Probleme der Anthropogenese geht es vor allem darum, diesen Prozess als einheitlichen und zugleich vielseitigen Entstehungsprozess der physischen und psychischen Spezifik des Homo sapiens sapiens sowie seiner Urgesellschaft, als *Einheit von Anthropoorganismogenese*, *Anthropopsychogenese* und *Anthroposoziogenese* zu begreifen. Diese Einheit des Menschwerdungsprozesses

192 J. Herrmann, Die Menschwerdung, Berlin 1984, S. 15.

kann in ihrem Wesen letztlich nur verstanden werden, wenn die Entstehung und Entwicklung des *Arbeitsprozesses* mit seinem sozialen Konnex als Kernprozess der Menschwerdung theoretisch reflektiert wird.

5.1 Wendepunkt der Evolution

Die heute lebenden Menschen sind eine neben 185 weiteren rezenten Primaten-Arten. Diese gehören vier verschiedenen Gruppen an Halbaffen, Neuweltaffen, Hundsaffen und Hominoiden (Menschenaffen und Menschen) an. 28 der 185 Primatenarten leben auf Madagaskar, jeweils über 50 in Südamerika, Afrika und Asien. *Primaten* befinden sich, wie A. Jolly bemerkt, an einem *Wendepunkt der Evolution*. „Primaten sind für den Biologen, was Viren für den Biochemiker sind. Sie können den Regeln einer einfacheren Disziplin gemäß analysiert und teilweise verstanden werden, aber sie präsentieren auch eine andere Ebene der Komplexität: Viren sind lebende Chemikalien und Primaten sind Tiere, die lieben und hassen und denken."[193]

Die Autorin verweist darauf, daß die Primaten eine Säugetier-Ordnung sind, die schwerlich durch ein einzelnes Merkmal zu charakterisieren ist. Doch zeige sich eine Anzahl anatomischer Trends, deren meiste direkt mit der Komplexität des Verhaltens verbunden sind. „Freie und präzise Bewegung der Hände und Vordergliedmaßen kulminiert in unserer eigenen Gewandtheit, mit Werkzeugen umzugehen. Ein Wechsel vom Verlassen auf den Geruchssinn zum Verlassen auf das Sehen führt zur Fähigkeit, eine Welt voller Objekte räumlich zu durchmustern. Die Großhirnrinde wächst an Größe und Komplexität. Schließlich erfordert das Längerwerden des pränatalen und postnatalen Lebens auch eine verlängerte Fürsorge für unsere abhängigen Jungen, die hinreichend Zeit benötigen, um die Ressourcen ihrer Umwelt und die Umgangsformen ihrer Sippe kennenzulernen. Wenn es ein Wesen dessen gibt, ein Primat zu sein, ist es die progressive Evolution der Intelligenz als einer Weise zu leben. Solche Trends datieren das Hervortreten des Menschlichen lange im voraus und werden in einem überraschenden Ausmaß auf den verschiedenen Entwicklungsniveaus unter den heute lebenden Arten repräsentiert."[194]

Wie Jolly weiter vermerkt, leben rund 80 Prozent aller Primatenarten in tropischen Regenwäldern, die aller Wahrscheinlichkeit nach die ursprüngliche Heimat dieser Tiergruppe waren. Einige wenige sind für diese Lebensstätte spezialisiert, während viele befähigt sind, sowohl feuchte als auch trockene Wälder zu besiedeln. Die Hälfte der Arten auf jedem Kontinent kann zuzeiten in trockenes Waldland einwandern; nur in Afrika und Asien leben einige Primaten in der offenen Savanne.

Ein Teilgeschehen der Primatenevolution war die *Evolution der Hominiden* (menschenähnliche Affen), ein Teilgeschehen der Hominoidenevolution der Evolution der

193 A. Jolly, The Evolution of Primate Behavior, in: American, Scientist, 3/1985, S. 230.
194 Ebenda.

Hominiden (Menschenartigen). In diesem Konnex vollzog sich *in den Jahrmillionen des Tertiärs und Pleistozän die Evolution zum Menschen*.[195] (Vgl. *Abb. 16*; siehe S. 400)

Die *ältesten Primaten*, Nachkommen primitiver Insektenfresser, traten am Ende der Kreidezeit, vor nahezu *70 Millionen Jahren*, auf. Es waren urtümliche Halbaffen, kleine, baumbewohnende Tiere, die ersten nur mausgroß. Zu Beginn des Tertiärs waren Halbaffen in Nordamerika und Europa, die damals noch über Grönland durch eine Landbrücke verbunden waren, weit verbreitet. Vor etwa 50 Millionen Jahren scheinen sich die Entwicklungswege der Halbaffen und der aus halbäffischen Vorfahren hervorgegangenen echten Affen (Simiae) getrennt zu haben; in Nordamerika entstanden die Neuweltaffen (Platyrrhina), in Eurasien die Altweltaffen (Catarrhina). Seit dem Oligozän, vor 37 bis 33 Millionen Jahren, sind fossile Formen der beiden großen Gruppen der Altweltaffen, der Meerkatzenartigen oder Hundsaffen (Cerocpithecoidea) und der Hominoiden nachgewiesen, die vor schätzungsweise etwa 40 bis 35 Millionen Jahren aus einer Ursprungsgruppe der Altweltaffen heraus getrennte Evolutionswege einschlugen. Eine frühe Hominoidengruppe stellt Prophiopithecus dar, ein durch Unterkiefer und Zähne aus dem unteren Oligozän (Oase El Fayum südwestlich von Kairo) belegter, etwa katzengroßer Affe.

In der *Evolution der Hominoiden* entstanden die *drei Gruppen* (Hylobatidae), zu der heute noch sieben in Asien lebende Arten zählen, der *Menschenaffen* (*Pongidae*), vertreten durch Schimpanse, Zwergschimpanse und Gorilla in Afrika, den *Orang Utan* in Asien und die *Hominiden*. Zunächst scheinen sich im Oligozän, vor vermutlich 35 Millionen Jahren, die Wege der Hylobatiden-Gruppe und der anderen Hominoiden getrennt zu haben. Deren ältester bekannter Vertreter ist *Aegyptopithecus*, von dem Skelettreste ebenfalls in El Fayum gefunden wurden. Er hat vor etwa 34 bis 33 Millionen Jahren gelebt. Der etwa fuchsgroße Bewohner tropischer Urwälder konnte sich auf allen Vieren im Baumgeäst, aber auch auf dem Boden fortbewegen. „Sein menschenaffenähnliches Gebiß schloß kräftige, nur bei den männlichen Artangehörigen ausgebildete Eckzähne (Augenzähne) ein, möglicherweise ein Hinweis auf eine Lebensform, bei der die Männchen komplexe soziale Gruppen verteidigten. Eine hochwickelte Sozialorganisation würde auch zum großen Hirnvolumen von etwa 30 Kubikzentimetern passen, das den kleinen Aegyptopithecus zum schlauesten Vertreter der oligozänen Tierwelt und damit zum geeigneten Vorläufer von Menschenaffen und Menschen abstempelt."[196]

Auf der durch Aegyptopithecus repräsentierten Entwicklungslinie entstand offenbar die vor 25 bis 6 Millionen Jahren lebende, im Miozän in Europa, Asien und Afrika weit verbreitete und mit einigen Formen noch ins Pliozän hinreichende Gruppe der

195 Vgl. L. Kämpfer (Hrsg.), Evolution und Stammesgeschichte der Organismen, a. a. O., S. 373 ff.; H. Ullrich, Woher wir kommen (I) Vom Halbaffen zum Affenmenschen, in: Urania, 3/1986, S. 32-37; D. Pilbeam, The Descent of Hominoids and Hominids, in: Scientific American, 3/1984, S. 60-69.

196 S. M. Stanley, Der neue Fahrplan der Evolution, München 1983, S. 163 f.

Ära	Periode	Epoche	Alter	Primaten- und Hominidenevolution
Känozoikum	Quartär	Holozän		
			≈ 10000 Jahre	
		Pleistozän		Homo sapiens sapiens Homo sapiens neanderthalensis Homo erectus
			≈ 1,8 Mio. Jahre	
	Tertiär Junf-Tertiär (Neogen)	Pliozän		Homo habilis Australopithecinen Baumaffen (Dryopithecinen), darunter Proconsul-Gruppe; Ramapithecinen, u. a. Keniapithecinen
			≈ 12 Mio. Jahre	
		Miozän		
			≈ 26 Mio. Jahre	
		Oligozän		Altweltaffen differenziert in Meerkatzenartige (Cercopithecoiden) und Hominoiden (Menschenähnliche), u. a. Aegyptopithecus; Trennung der Evolutionswege der Gibbons (Hylobatiden) und der Menschenaffen (Pongiden)
			≈ 38 Mio. Jahre	
	Alt-Tertiär (Paläogen)	Eozän		Trennung der Evolutionswege von Halbaffen und echten Affen (Simiae); Neuweltaffen ± Platyrrhinen) und Altweltaffen (Catarhinen)
			≈ 54 Mio. Jahre	Halbaffen
		Paläozän		
			≈ 65 Mio. Jahre	
Mesozoikum	Kreide			älteste Primaten (primitive Halbaffen)

Abb. 16 Primaten- und Hominidenevolution in der Erdgeschichte

Dryopithecinen (Baumaffen), in der sich Vorfahren der heutigen Menschenaffen und Menschen befanden. Zu ihnen gehört die etwa 18 Millionen Jahre alte Proconsul-Gruppe, darunter Proconsul africanus, von dem Schädelteile und Gliedmaßenreste auf Rusinga Island im Victoria-See in Kenia gefunden wurden. Proconsul africanus war etwa zwergschimpansengroß und bewohnte offene Galeriewälder, die teilweise den Charakter von Buschsteppen hatten. Er könnte der Ausgangsgruppe der Hominiden nahe gestanden haben.

Wer die ersten Hominiden waren, wann sich ihre Evolutionslinie und die Pongiden getrennt haben und auch die konkreten stammesgeschichtlichen Verwandtschaftsbeziehungen zwischen dem Menschen und seinen rezenten menschenäffischen Stammverwandten sind Fragen, die sich in der Diskussion befinden.[197] Seit den 60er Jahren wurden 12 bis 9 Millionen Jahre alte Fossilien einer als „*Ramapithecus*" bezeichneten Gruppe auf dem indischen Subkontinent als Überreste der ältesten Hominiden angesehen. Weiteres Fundmaterial aus den 70er Jahren, nicht nur vom indischen Subkontinent, sondern auch aus Ungarn, Griechenland und der Türkei sowie China hat „Ramapithecus" zu einer Sammelbezeichnung für recht verschiedene Hominoiden werden lassen, deren Beziehungen und stammesgeschichtliche Stellung problematisch sind und die weiter aufgeklärt werden müssen.

Aus Ostafrika liegen Funde fossiler Kieferfragmente und Zähne des Keniapithecus vor, der auf ein Alter von 15 bis 12 Millionen Jahren datiert und ebenfalls den Ramapithecus zugeordnet wird. Die Zähne des Keniapithecus werden als eher menschenähnlich denn menschenaffenähnlich beurteilt, so dass ihm einige Wahrscheinlichkeit dafür eingeräumt wird, der älteste Hominide zu sein. Eindeutige Hominidenfossilien liegen aber erst aus einem vor rund 5 Millionen Jahren beginnenden Zeitraum von der Australopithecus-Gruppe vor.

Von Australopithecinen konnten bisher an fünf südafrikanischen und ostafrikanischen Fundstätten mehr als 1200 fossile Skelettreste – Schädel, Schädelteile, Zähne und andere Skelettfragmente – von mindestens 300 Individuen geborgen werden. Sie stammen aus einem Zeitraum von vier Millionen Jahren, von vor ca. fünf Millionen Jahren bis vor etwa einer Million Jahre. Der Australopithecinen-Schädel, dessen Gesamteindruck an den eines Menschenaffen gemahnt, weist ein eigentümliches Mosaik menschenaffenähnlicher und menschenähnlicher Merkmale auf: Noch menschenäffisch sind u. a. der im Verhältnis zum Gesichtsschädel kleine, niedrige Hornschädel, der ein kleines Gehirn enthielt, und der vorspringende kräftige Kiefer; schon menschlich sind u. a. der geschlossene parabolische Zahnbogen, kleine Eckzähne und das nach der Mitte der Schädelbasis verlagerte Hinterhauptsloch. Das Körperskelett ähnelt weitgehend dem der Menschen.

197 Vgl. J. H. Schwartz, The Evolutionary Relationships of Man and Orang-Utans, in: Nature, 5/1984, S. 501-505; H. Ullrich, Vom Halbaffen zum Affenmenschen, a. a. O.; D. Pilbeam, TheDezent of Hominoids and Hominids, a. a. O.

Becken und Gliedmaßen des Australopithecinen belegen aufrechte Körperhaltung und zweifüßigen Gang (Bipedie), die entgegen älteren Vorstellungen kein Spezifikum des Menschen, sondern den (bekannten) Hominiden generell eigen sind. Dass dies bereits vor mehr als drei Millionen Jahren der Fall war, zeigen die etwa 3,5 bis 4 Millionen Jahre alten, fast zur Hälfte vollständigen Skelettreste eines um 20 Jahre alt gewordenen Australopithecinenweibchens, das man „Lucy" genannt hat. Der Fund stammt wie zahlreiche weitere aus dem äthiopischen Hadar-Gebiet.[198]

Unter den Australopithecinen zeichnen sich ein robuster und ein graziler Typ ab. Der robuste Typ lebte etwa von vor 2,5 bis vor 1 Million Jahren in Ost- und Südafrika. Er war erwachsen ca. 1,50 Meter hoch und 40 bis 50 Kilogramm schwer. Diese Wesen scheinen sich von harten Pflanzenteilen ernährt zu haben. Darauf weisen Spezialisierungen im Bau des Gebisses und des Schädels hin, so der knöcherne Scheitelkamm als Ansatzfläche einer mächtigen Kaumuskulatur. Der grazile Typ besitzt keinen Scheitelkamm und ein weniger spezialisiertes Gebiss, das auf eine Kost schließen lässt, zu der neben Pflanzen auch Fleisch gehörte. Die Individuen wurden ca. 1,30 Meter hoch und erreichten eine Körpermasse von 25 bis 30 Kilogramm.

Die Australopithecinen werden allgemein als eine Hominiden-Gattung angesehen, die aus mehreren Arten bestand. Der grazile Typ trägt den Namen Australopithecus africanus; beim robusten Typ wird zwischen dem südafrikanischen Australopithecus robustus und dem ostafrikanischen Australopithecus boisei unterschieden. Umstritten ist die Stellung von „Lucy" und mit ihr im Fundzusammenhang stehender Australopithecus-Fossilien. Die Meinungen reichen von der Annahme, sie gehörten bereits teils, so auch „Lucy", dem grazilen Typ an, über die Ansicht, es handele sich um eine Unterart von Australopithecus africanus, bis zur Auffassung, es liege eine eigene Art Australopithecus afaronsis vor, die als gemeinsame Vorfahrenart der grazilen und der robusten Australopithecinen sowie des Homo habilis angesehen wird.

Im Verlauf der Evolution der Hominiden auf dem Wege zum Menschen lassen sich im Anschluss an G. Heberer drei Phasen unterscheiden:

1. eine *subhumane* (*vormenschliche*) *Phase*, die begann, als sich die Evolutionswege der Pongiden und der Hominiden trennten und in der insbesondere der aufrechte Gang entstand;

2. ein „*Tier-Mensch-Übergangsfeld*" bis zum Auftreten des Frühmenschen (Archanthropinen), in dem sich die Herstellung von Arbeitsgeräten und soziale Jagd herausbildeten;

3. eine anschließende Phase der *Evolution des Menschen* bis zur Herausbildung des Homo sapiens sapiens und der Gentilgesellschaft, die als humane (menschliche)

198 Vgl. D. Johanson/M. Edey, Lucy – Die Anfänge der Menschheit, München – Zürich 1982; J. E. Kalb/C. J. Jolly/E. B. Oswald/P. E. Whitehead, Early Hominid Habitation in Ethiopia, in: American Scientist, 2/1984, S. 168-178; H. Ullrich, ‚Lucy" und das Alter der Menschheit, in: Urania Universum, Bd. 30, Leipzig – Jena – Berlin 1984.

Phase bzw. im Hinblick auf die Anthroposoziogenese als biotisch-gesellschaftliche Übergangsphase bezeichnet wird.[199]

5.2 Tier – Mensch – Übergangsfeld

Im Kreis der Australopithecinen nun begann im Tier-Mensch-Übergangsfeld der spezifische Entwicklungsweg des Menschen. Mit dem Aufkeimen seiner *arbeitsfundierten gesellschaftlichen Existenzweise* trennte er sich von den vormenschlichen und den zeitweilig noch neben ihm existierenden nichtmenschlichen Hominiden. „Nach heutiger Kenntnis spricht sehr vieles dafür, daß sich vor etwa 3-2,5 Millionen Jahren einige Populationen des grazilen Australopithecinen zum Menschen, zum Affenmenschen (Homo habilis), weiterentwickelt haben", schreibt H. Ullrich.[200]

Älteste Fossilien von Homo habilis sind aus etwa 2 Millionen Jahre alten Schichten in Kenia, Tansania und Südäthiopien sowie in Südafrika geborgen worden; in Ostafrika existierte er nachweislich bis vor etwa 1,4 Millionen Jahren. „Der Affenmensch glich im Bau des Schädels noch weitgehend den Australopithecinen, insbesondere ihrem grazilen Typ. Gleichzeitig unterschied er sich in zahlreichen Merkmalen deutlich von diesen. Der Hirnschädel war absolut größer, in der Seitenansicht gestreckter und niedriger, das Hinterhaupt gerundeter. Die Stirn war relativ hoch, der Überaugenwulst nur ganz schwach ausgeprägt", resümiert Ullrich.[201] Er weist darauf hin, dass Homo habilis in vieler Hinsicht eine Zwischenstellung zwischen dem grazilen Australopithecinen-Typ und dem zeitlich späteren häufig „Urmensch" genannten Homo erectus einnimmt. Besonders treffe das für das Gehirnvolumen zu, für das bei den Australopithecinen ein Mittelwert von 500 Kubikzentimetern, bei den Habilinen von 630 Kubikzentimetern und bei Homo erectus von 980 Kubikzentimetern errechnet wurde.

Vermutlich lebten die Habilinen in kleineren Horden. Entscheidend für ihre Position im Prozess der Menschwerdung ist, dass sie begannen, sich mit ihrer natürlichen Umwelt auf menschliche Weise auseinanderzusetzen, d. h. zu *arbeiten.* Es ist belegt, dass sie Geröllsteine durch mehr oder weniger gezielte Schläge veränderten und als Arbeitsgeräte benutzten. Die ältesten bekannten Geröllgeräte stammen aus dem südäthiopischen Omo-Tal und werden auf ein Alter von 2,5 Millionen Jahren datiert, sind also älter als die ältesten bekannten Fossilien von Homo habilis; ihre Hersteller sind nicht fossil belegt. Die Habilinen dürften das Sammeln von Nahrung durch die gemeinschaftliche Jagd auf kleinere Tiere ergänzt haben, aber noch keine Großwildjäger gewesen sein. Doch verwerteten sie zweifellos tot vorgefundene Großtiere wie Nilpferde und Elefanten. Weitere Belege ihrer Arbeitstätigkeit sind Plätze, an denen

199 Vgl. S. Kirschke, Anthropogenese und Urgesellschaft, in: D. Bergner (Hrsg.). Der Mensch, Berlin 1982.
200 H. Ullrich, Vorn Halbaffen zum Affenmenschen, a. a. O., S. 36.
201 H. Ullrich, Affenmensch und Urmensch, in: Urania, 7/1986, S.34.

Wild zerlegt wurde und andere, an denen gerastet und Geröllgeräte hergestellt wurden sowie Spuren von windschirm- oder zeltartigen Konstruktionen, gefunden zu Olduvai in Tansania, Gadeb in Äthiopien und an weiteren Orten.

„Man kann die Menschen durch das Bewußtsein, durch die Religion, durch was man sonst will, von den Tieren unterscheiden. Sie selbst fangen an, sich von den Tieren zu unterscheiden, sobald sie anfangen, ihre Lebensmittel *zu produzieren*, ein Schritt, der durch ihre körperliche Organisation bedingt ist. Indem die Menschen ihre Lebensmittel produzieren, produzieren sie indirekt ihr materielles Leben selbst", erkannten Marx und Engels bereits in ihrem 1845/46 entstandenen gemeinsamen Werk „Die deutsche Ideologie"[202]. Freilich kann man die Menschen auch unter dem Aspekt von den Tieren unterscheiden, dass sie der *Sprache* und des *Denkens* mächtig sind und eine vielfältige *geistige Kultur* hervorgebracht haben. So haben sich Marx und Engels keineswegs einfach gegen eine solche Möglichkeit ausgesprochen, sondern vielmehr darauf hingewiesen, dass es für ein wissenschaftliches Verständnis des Wesens des Menschen und vor allem des Werdens der Menschheit wesentlich ist, das Augenmerk in der Forschung darauf zu lenken, wodurch sich die Menschen selbst von den Tieren zu unterscheiden beginnen.

Damit ist eine Art der Fragestellung impliziert, die sich eben nicht vorwiegend darauf richtet, wonach man unterscheiden kann, sondern darauf, wie man das spezifische Wesen des *Zustandekommens von Unterschieden in Entwicklungsprozessen* zu erfassen hat. Es geht hier konzeptionell um ein *qualitatives Umschlagskriterium*, das als solches zwar durchaus schwieriger zu verifizieren ist als Aussagen über einen einzelnen Fund oder eine beliebige andere paläoanthropologische oder archäologische Einzelheit. Es kann aber zur wissenschaftlichen Verifikation von Umschlagsprozessen dienen und somit eine höhere Sicherheit für das Erfassen wesentlicher Zusammenhänge in Gesamtvorgängen bieten. Solche Kriterien, die natürlich selbst empirische Grundlagen haben (die potentiell auch stets empirisch nachweisbar sein müssen), bieten zugleich die Möglichkeit, die empirische Forschung methodisch so zu orientieren, dass gerade dasjenige empirisch Konstatierbare in den Untersuchungen mit hoher Aufmerksamkeit bedacht wird, was für das Verständnis des Gesamtprozesses besonders bedeutsam ist. Das hilft, den Gesamtprozess überschaubarer zu machen, als auch das Wesentliche dieses Prozesses jeweils im Detail besser zu enthüllen.

Die wissenschaftlichen Möglichkeiten einer genaueren (beispielsweise auch zeitlichen) Bestimmung der Grenze zwischen Tier und Mensch im Prozess der Menschwerdung oder der Versuch der genaueren Grenzziehung zwischen vormenschlicher und menschlicher Sozialität sind durchaus nicht leicht zu fixieren. Eigentlich ergibt sich diese Grenze nur im Wirksamwerden *neuer Determinanten* in der *Entwicklung zu menschlichen Sozialstrukturen.* Diese Determinanten sind aber *Artefakt-vermittelt.* Sie ergeben sich nur durch das Verhalten der Gerätehersteller und -anwender selbst, die es mit einem bestimmten Entwicklungsgrad der Produktion von Werkzeugen (Arbeitsgeräten) so weit

202 K. Marx/F. Engels, Die deutsche Ideologie, in: MEW, Bd. 3, Berlin 1983, S. 21.

bringen, dass diese gegenständlichen Determinanten – nämlich ihre selbstgeschaffenen Werkzeuge – eben als Determinanten für die Entwicklung ihrer Sozialstrukturen zu wirken beginnen. Ein solcher Umschlag in der Entwicklung ist zwar gewiss von vielen anderen Faktoren auch abhängig. In seinem Wesen jedoch ist er an die *Werkzeugentwicklung* gebunden und im weiteren in dieser Bindung zugleich unumkehrbar. Wird eine solche Entwicklungsschwelle überschritten, dann setzen Prozesse ein, die mit der spezifisch menschlichen Entwicklung von Sozialstrukturen untrennbar verbunden sind.

Eine detaillierte Beschreibung dieses Geschehens mit angemessen genauen zeitlichen Datierungen wird auf Grund der schmalen paläontologisch-paläoanthropologischen und archäologischen Faktenbasis wohl nie gelingen, auch wenn zukünftig gewiss weitere fossile Belege der subhumanen und humanen Hominidenevolution sowie menschliche Hinterlassenschaften wie Arbeitsgeräte und Werkzeuge, Spuren von Werkplätzen und Hütten, Überreste von Mahlzeiten usw. in die Untersuchung einbezogen und zu wichtigen neuen Einsichten führen werden.[203] „Viel wichtiger als die archäologisch allein nachweisbaren Geräte aus Steinen und Knochen mögen hölzerne Werkzeuge gewesen sein: Grabstöcke, Speere, Keulen und urtümliche Körbe. Vor allem Körbe oder Tragtaschen aus Leder haben eine entscheidende Rolle in der Entwicklung gespielt; leider werden die Archäologen nie nachweisen können, wann sie zum ersten Mal verwendet wurden. Doch erst wenn es Behälter gibt, kann gesammelte Nahrung verteilt und damit eine wesentliche Grundlage menschlicher Kultur erhoben werden“, bemerkt W. Schmidbauer.[204]

Diese Schwierigkeiten lassen die Bedeutung *integrativer Hypothesenbildung* auf dialektisch- und historisch-materialistischer Grundlage als wissenschaftliches Rüstzeug fortschreitenden Verständnisses der Menschwerdung um so mehr hervortreten. Dazu gehört es, die *sich wandelnden geographischen und ökologischen Umstände* zu berücksichtigen, an die die Evolution zum Menschen gebunden war.[205] Alle wissenschaftlichen Zugänge zu den Anfängen von Wirtschaft und Gesellschaft, materieller und geistiger Kultur, der Sprache und des Bewusstseins sind zu nutzen. Evolutionsbiologie, Verhaltensforschung, recht verstandene, also nicht unkritisch rezipierte evolutionäre Erkenntnistheorie und Soziobiologie sowie insbesondere die Primatenforschung helfen, die *biotischen* Voraussetzungen der Anthropogenese aufzuklären, die in der Organismenevolution, speziell in der Evolution der Primaten, entstanden.

Ausnahmsweise nur bei der Evolution zum Menschen von außen hinzutretende Faktoren sind nicht anzunehmen. Vielmehr ging der Prozess, in dem Mensch und Gesellschaft entstanden, von Voraussetzungen des Körperbaus, des Verlaufs der Indi-

203 Vgl. J. Herrmann, Die Menschwerdung, a. a. O., S. 42 f.
204 W. Schmidbauer, Die Bedeutung der Jagd für die menschliche Evolution, in: W. Schmidbauer (Hrsg.), Evolutionstheorie und Verhaltensforschung, Hamburg 1974, S. 229 f.
205 Vgl. H. D. Kahlke, Das Eiszeitalter, Leipzig – Jena – Berlin 1981; A. A. Veličko, Priroda i kolybeli česlovečestva, in: Prioroda, 3/1985, S. 35-45.

vidualentwicklung und des Verhaltens, einschließlich des sozialen Zusammenlebens, aus, die auch sonst im Tierreich vorkommen und in seiner Evolution eine Rolle spielen. Das *Besondere*, aber nicht Unvergleichliche des Vorgangs bestand in deren *Kombination* und Steigerung durch *Wechselwirkung im Systemzusammenhang* Darwinsche Fitness gewährleistender evolutionärer Lebensstrategie sozial lebender vormenschlicher Hominiden für bestimmte Lebensstätten. In diesem Prozess entwickelte sich die *menschliche Arbeit* aus erlerntem und sozial tradiertem (protokulturellem) tierlichem Werkzeugverhalten. Sie wurde zur Grundlage des Forschungsbestandes des tierlichen Sozialverbandes wie des Lebens der ihm angehörenden Individuen und transformierte das *tierliche soziale Beziehungsgefüge* zum *menschlichen Gesellschaftsleben*.[206]

Wesentlich für das Verhältnis von biotischer Evolutionsgesetzlichkeit und den Entwicklungstendenzen und den Entwicklungsgesetzen der Menschengesellschaft ist, dass die *Anthropogenese durch den biotischen Evolutionsmechanismus* herbeigeführt und voranbewegt wurde. Durch die *zunehmende Eigendynamik der gesellschaftlichen Entwicklungsprozesse* aber verlor der biotische Evolutionsmechanismus während der biotisch-gesellschaftlichen Übergangsphase seinen entwicklungsbestimmenden Charakter, wurde die weitere biotische Evolution des Menschen von der gesellschaftlichen Entwicklung abhängig und in ihren Effekten begrenzt. Produkt der Organismenevolution, arbeitete sich *die werdende Menschheit* in der Anthropogenese über die tierlichen Daseinsbestimmungen hinaus, *begann ihre eigene Welt der materiellen und geistigen Kultur*, *der gesellschaftlichen Verhältnisse und Institutionen hervorzubringen*, *wurde sie zum Schöpfer ihrer selbst*.

5.3 Evolution des menschlichen Arbeitsprozesses

So wie die Gesamtproblematik der Menschwerdung noch unabsehbar lange Zeit viele offene Fragen für die Forschung bereithält und in der weiteren Wissenschaftsentwicklung erneut aufwerfen wird, so wird auch die Problematik der *Evolution des menschlichen Arbeitsprozesses* weiterhin ein besonders wichtiger Gegenstand intensiver Forschung bleiben. Dabei wird die Arbeit selbst immer auch als Entwicklungsprodukt zu betrachten sein. *Marx* erachtete bereits ohne Kenntnis der Vielzahl heute erst bekanntgewordener Fakten aus logisch-historischen Gründen als unabdingbar, in der Entwicklung des Arbeitsprozesses verschiedene Stufen zu unterscheiden. Bei ihm kann man folgende Differenzierung finden:

206 Vgl. E. Karnahl, Kontinuierliche und diskontinuierliche Momente in der Phylogenese des menschlichen Bewußtseins, in: Wiss. Zeitschr. der Martin-Luther-Univers. Halle-Wittenberg, Math.-Naturwiss. R., 1/1986, S. 118-124; R. Löther, Zur Einheit von Naturtheorie und Kulturtheorie, in: Zeitschr. für Wissenschaftsforschung, 3/1986, S. 59-68; vgl. A. Wessel, I. Jahn (Hrg.) (2010): Für eine Philosophie der Biologie – For a Philosophy of Biology: Festschrift to the 75th Birthday of Rolf Löther. Berlin.

– die „ersten thierartig instinktmäßigen Formen des Arbeitsprozesses";
– ein Stadium, „worin der menschliche Arbeitsprozeß seine erste instinktartige Form noch nicht abgestreift hatte", und
– „Arbeitsprozeß in einer Form, worin er *dem Menschen* ausschließlich angehört", wobei charakteristisch für die dritte Stufe ist, dass sich als Ergebnis des Arbeitsvorganges ein Resultat einstellt, „das beim Beginn desselben schon in der *Vorstellung des Arbeiters*, also schon *ideell* vorhanden war".[207]

So sehr Marx' Entwurf, der selbstverständlich nur auf der Basis des Wissensstandes seiner Zeit konzipiert werden konnte, mit diesem überholt ist – *der Grundgedanke*, nämlich die *Notwendigkeit*, *in der Entwicklung der Arbeitstätigkeit einzelne Stufen* und damit auch entsprechende *Qualitätsumschläge* zu unterscheiden und näher zu kennen, *bleibt weiterhin bestehen*. Eine aktuelle Konzeption dazu versucht, verschiedene in der Entwicklung der Arbeit neu hinzugekommene Dimensionen herauszustellen und im Einklang mit den gegenwärtig bekannten paläoanthropologischen und archäologischen Fakten zu interpretieren.[208] Im Zusammenhang damit steht eine differenzierte Periodisierung der Menschwerdung und der ihr zugrundeliegenden Evolution der Arbeit.

Unterschieden werden eine *Epoche der „Homo-Deviation"*, die in etwa dem Tier-Mensch-Übergangsfeld entspricht, sowie zwei Epochen, die der biotisch-gesellschaftlichen Übergangsphase entsprechen: die *anthropologisch mit Homo erectus verknüpfte Epoche der „Anthroposoziogenese"* und eine *mit dem Altmenschen* (*Homo sapiens neanderthalensis*) *zusammenhängende Epoche der „sozialökonomischen Formierung"*, an die dann die *Epoche der Urgesellschaft* (*Gentilgesellschaft*) als erste sozialökonomische Gesellschaftsformation anschließt. Ob die Bezeichnungen dieser Epochen glücklich gewählt sind, sei dahingestellt; jedenfalls werden Termini wie „Deviation" oder „Anthroposoziogenese" im Kontext dieser Konzeption vom sonstigen wissenschaftlichen Sprachgebrauch abweichend verwendet.

Die Konzeption geht davon aus, dass die *Arbeit anfangs eindimensionalen Charakter* hatte, d. h., naturgegebene Gegenstände, vorgefundene Naturdinge wurden – wie auch heute bei höheren Primaten zu beobachten[209] – mit der Hand benutzt. Ziel, Mittel und Zweck liegen dabei in einer Zeitebene und in einer Geschichtsebene. Hunger, Durst, Abwehr von Gefahr u. ä. waren die weitgehend unreflektierten Bedürfnisse, die das Ziel provozierten und zur unmittelbaren Realisierung drängten. Später, im wesentlichen in der Epoche der Homo-Deviation, erreichte die *Gerätebenutzung eine neue Qualität*. Naturmaterialien wurden nicht mehr nur einfach aufgenommen. An einigen finden sich erste deutliche Zeichen der *Be- und Verarbeitung*. Spitzen, scharfe Kanten und Schneiden etc. wurden grob zugeschlagen und herausgearbeitet, wobei

207 K. Marx, Das Kapital, Erster Band, in: MEGA, Zweite Abteilung, 5. Band, Berlin 1983, S. 129 f.
208 Vgl. J. Herrmann, Die Menschwerdung, a. a. O., S. 86 ff.
209 Vgl. A. Jolly, The Evolution of Primate Behavior, a. a. O., S. 235 f.

das jeweilige Individuum zur Befriedigung von Bedürfnissen und zur Realisierung einer entsprechenden Zurichtung von Geräten durchaus bereits auf sein *Gedächtnis* und auch die *Erfahrungen* seiner Horde zurückgreifen konnte. Die Handlungsweise und die Denkebene dieser Stufe der Entwicklung zum Menschen, die als die erste eigentliche Entwicklungsstufe von Arbeit angesehen werden kann, war damit jedoch bereits *zweidimensional*. Allerdings scheinen die zugerichteten Geräte nach Erfüllung ihres Zweckes zumeist am Handlungsort liegengelassen worden zu sein, so in Plätzen, an denen kooperativ Wild zerlegt wurde – und sei es, weil man am Fleisch eines tot aufgefundenen Großtieres genug zu tragen hatte, während zurichtbare Geröllsteine leichter zu erlangen waren. Der Übergang auf diese Stufe und die Weiterentwicklung der Arbeit auf ihr kann als den Geröllgeräten der Habilinen und den Spuren ihrer Verwendung beginnend historisch belegt angesehen werden.

In der anschließenden Menschwerdungsepoche erhielt der *Arbeitsvorgang* eine *dritte Dimension*: Es setzte die *gezielte Bearbeitung von Rohmaterial zu Geräten* ein, die nun bereits *mit anderen selbstgefertigten Geräten* erfolgte. Dieser wesentliche Umschlag – *Geräteherstellung zur weiteren Geräteherstellung* – bringt tatsächlich eine weitere, also dritte Dimension, da Ziel und Zweck durch lange andauerndes Verhalten anderen Charakters getrennt werden und zunehmend getrennt werden mussten. Ein Verhalten also, das *Abstraktionen* erforderte und einen weitaus höheren Grad von *Denkleistungen* und entsprechenden *Verhaltensregulationen*, die nicht mehr nur durch unmittelbar gegebene Naturbedingungen herausgefordert waren. Hier liegen wohl auch die Anfänge des dem Menschen eigentümlichen *begrifflichen Denkens*.[210] Die Trends zur Herausbildung und Verfestigung von Arbeitstraditionen, sozial normierten allgemeineren Verhaltensweisen sowie verschiedenen archäologischen Kulturen werden immer deutlicher.

Die Urheber dieser Entwicklung, der *Homo erectus*, dürfte *vor etwa 1,6 Millionen Jahren in Ostafrika* aus Populationen des dortigen Homo habilis hervorgegangen sein, während zugleich Habilinen noch bis vor ca. 1,4 Millionen Jahren weiterexistiert haben. Es waren bedeutende *psychische*, *soziale und kulturelle Entwicklungen*, die sich *im Zusammenhang mit der Herausbildung und Entfaltung der Dreidimensionalität der Arbeit* während einer lange währenden Übergangszeit vollzogen.[211]

Älteste Fossilfunde, die für eine Basisgruppe des Homo erectus sprechen – ihr Alter liegt zwischen 1,6 und 1,3 Millionen Jahren –, stammen vom Ostufer des Turkanasees in Nordkenia. Funde aus dem Tal des Omo (Südäthiopien), der in den Turkanasee mündet, von Melka Kunture (Äthiopien) und Olduvai (Tansania) sind mit 1,5 bis 2 Millionen Jahren nur wenig jünger. Schon vor mehr als 1 Million Jahren sind Hor-

210 Vgl. F. Klix, Erwachendes Denken, Berlin 1983, S. 102 f.
211 Vgl. H. Ullrich, Affenmensch und Urmensch, a. a. O.; A. Walker/R. E. F. Leakey, Die Hominiden von Ostturkana, in: Evolution. Die Entwicklung von den ersten Lebensspuren bis zum Menschen, a. a. O.

den des Homo erectus offenbar aus ihrer tropischen Urheimat über Nordafrika nach Europa und über Vorderasien nach Ost- und Südasien vorgedrungen. Von Djawa sind Funde mit einem Alter von 1 Million Jahren und von 830000 bis 500000 Jahren bekannt. Die ältesten Funde in China entsprechen zeitlich den jüngeren von Djawa, andere, so die des „Pekingmenschen" von Chokontien nahe der chinesischen Hauptstadt, sind nur etwa 400000 bis 300000 Jahre alt. In Süd- und Mitteleuropa reichen archäologische Zeugnissen der Anwesenheit von Homo erectus bis fast 800000 Jahre zurück, europäische Fossilien stammen aus der Zeit zwischen 500000 und 300000 v. d. Z., d. h. vom späten Homo erectus. Anscheinend wurde Europa während der Warmzeiten des Pleistozäns mehrmals vom Süden her besiedelt.

In der Fossilgeschichte des Homo erectus zeichnet sich eine generelle Tendenz zu massivem Knochenbau des Schädels und der Gliedmaßen ab. Merkmale wie größeres Gehirnvolumen, Bau des Gesichtsschädels, Form des Zahnbogens und das Körperskelett kennzeichnen die Evolution zum Homo sapiens, während andere Merkmale, besonders die Bezahnung, primitiver wirken. Die Körperhöhe betrug bei den erwachsenen Individuen ca. 1,50 bis 1,60 Meter. Das Gehirnvolumen war nicht nur allgemein größer als beim Homo habilis, sondern auch bei historisch jüngeren Funden größer als bei älteren. Bei den älteren Funden von Djawa und aus China betrug es durchschnittlich 917 Kubikzentimeter, bei den jüngeren von Chonkontien 1149 Kubikzentimeter. Zwischen den Fossilien aus Afrika, Europa und Asien zeichnen sich morphologische Differenzierungen ab, die mit dem unterschiedlichen geographischen Milieu, besonders den klimatischen Bedingungen, zusammenhängen mögen. Der Übergang vom späteren Homo erectus zum frühen Homo sapiens erfolgte offenbar kontinuierlich in durch ein Netzwerk genetischer Beziehungen verbundener Populationen.[212]

Innerhalb des Verbreitungsgebietes des Homo erectus gab es zwei große Komplexe von Steingeräten, nach denen zwischen „*Faustkeilkulturen*" und faustkeillosen „*Geröllgerätekulturen*" unterschieden wird, letztere in der Spätphase des Homo erectus zum Teil – so in Bilzingsleben (DDR), Vértesszölös (Ungarn) und Chonkontien – mit „Abschlagkulturen". „Der Faustkeil, ein durch beidflächiges Behauen aus einem Geröll- oder Steinkern herausgearbeitetes Gerät mit Spitze und Arbeitskanten, ist das erste nach festen Formvorstellungen gefertigte Arbeitsinstrument des Menschen", schreibt Ullrich,[213] dessen Charakteristik des Homo erectus wir hier folgten. „Faustkeilkulturen" gab es in weiten Territorien Afrikas und Asiens, in Mittel-, West- und Südeuropa; möglicherweise gehen die Unterschiede in den Arbeitsgeräten dieser „Kulturen" darauf zurück, dass der Faustkeil und mit ihm verbundene Geräte zu einer

212 Vgl. L. Schott. Frühe Sapiensformen in Europa und Afrika, in: Biologische Rundschau, 4/1985, S. 241-250: L. Schott, Formen des archaischen Jetztmenschen im ost- und südostasiatischen Raum, in: Biologische Rundschau, 2/1987.
213 J. Ullrich, Affenmensch und Urmensch, a. a. O., S. 36.

Zeit in Afrika entwickelt und von dort aus verbreitet wurden, als zuvor schon nach Asien abgewanderte und von dort aus sich ausbreitende Gruppen des Homo erectus andere Richtungen der Geräteentwicklung verfolgten.

Mit der Ausprägung des dreidimensionalen Charakters des Arbeitsprozesses war außerdem die bewusste Nutzung eines weiteren wesentlichen Naturelements verbunden: auf dieser Stufe der Menschheitsentwicklung wurde begonnen, das *Feuer zu nutzen* und *zielgerichtet zu unterhalten*. Damit wurde wohl erstmals und bewusst eine bislang fremde und gewiss zunächst friedliche *Naturkraft angeeignet.* Es gibt die begründete Vermutung, dass Feuer bereits vor 1,4 Millionen Jahren in Ostafrika genutzt und kontrolliert wurde.[214] Entsprechende Vorgänge lassen sich anhand von Geräte- und Werkplatzfunden relativ sicher und anschaulich rekonstruieren. Hypothesen über kooperatives Verhalten in der zunehmenden Verflechtung des jeweiligen Sozialverbandes (z. B. Entwicklung der kooperativen Jagd auf größere Tiere, erste Formen von Arbeitsteilung) ergänzen das Bild. Die Wechselwirkung zwischen derartigem arbeitsprägendem Verhalten und den entsprechenden biotischen und psychosozialen Veränderungen sind aber im Detail weitaus schwieriger zu erschließen.

Zumindest liegt es nahe anzunehmen, dass die Verwendung und Bewahrung des Feuers entscheidend war, um neue Lebensräume und Lebensweisen zu erschließen. Nach Geräteherstellung, kooperativer Jagd auf größere Tiere und der mehr und mehr entwickelten geschlechtlichen Arbeitsteilung war die Nutzung des Feuers wesentlich, um die naturbedingt fixierten Lebensräume verlassen zu können und auch zunächst in Territorien gemäßigten Klimas vorzudringen. Das Feuer ermöglichte den Hominiden, sich an vielen Orten ein Mikroklima zu schaffen, ohne das sie kaum hätten überleben können.

Es gewährte verbesserten Schutz vor Raubtieren und konnte als Hilfsmittel bei der Jagd eingesetzt werden. Als Besitz der sozialen Gemeinschaften hatte es durch die Zwänge seiner Bewahrung und Verwendung gewiss auch wesentlichen Einfluss auf die soziale Organisation und deren Entwicklung. Zudem wurde das Feuer bedeutsam für die Zubereitung der Nahrung, was dann verändernd auf viele Lebensgewohnheiten wirkte und – längerfristig betrachtet – nicht ohne Auswirkungen auf den Verdauungsapparat, vor allem aber auch die Beschaffenheit des Schädels bleiben konnte.

Fest steht, dass die *Arbeit insgesamt* als ein neuer und sehr wichtiger *Faktor in der biotischen Evolution des Menschen* wirkte. Dabei war die *Herausbildung von Arbeit* und *Geräte- bzw. arbeitsvermittelten Sozialstrukturen* sowie entsprechendem *gesellschaftlichen Verhalten* zugleich untrennbar mit der weiteren Entwicklung *des Gehirns*, *des Denkens* und *der Sprache* verbunden.[215] Natürlich standen sich der Evolutionsfaktor

214 Vgl. J. A. J. Gowlett/J. W. Harris/D. Walton/B. A. Wood, Early archaeological sites, hominid remains and traces of fire from Chesowanja, Kenya, in: Nature, 5837/1981, S. 125-129.
215 Vgl. R. Löther, Ontogenese – Phylogenese – Anthropogenese, in: H. Hörz/K.-F. Wessel (Hrsg.), Struktur – Bewegung – Entwicklung, Berlin 1985; R. Löther, Anthropogenese und

Arbeit und die Menschen keineswegs in einer abstrakten, anonymen oder passiven Beziehung einander gegenüber. Vielmehr wurde dieser Faktor vom Menschen selbst erst hervorgebracht und weiterentwickelt. Man kann vielleicht sagen, dass der werdende Mensch mit der Entstehung und Entwicklung seiner Arbeitstätigkeit für seine biotische Evolution einige, das Überleben und die Fortpflanzungswahrscheinlichkeit der Träger bestimmter Gene bzw. Mutationen im natürlichen Selektionsprozess begünstigende, neue phänotypische Verhaltenseigenschaften hervorbrachte, die für die morphophysiologische und psychische Seite der Menschwerdung (Anthropoorganismogenese und Anthropopsychogenese) wesentlich wurden.

Insofern kann die Arbeit als biotisch-evolutiv wirksamer Faktor der Menschwerdung durchaus in zweifacher Hinsicht wesentlich werden: Er wirkte hinsichtlich der *Erhaltung*, *der Überlebens- und Durchsetzungschancen von bestimmten Populationen* und zudem hinsichtlich genetisch bedingter Existenz- und Fortpflanzungschancen von bestimmten zur Geräteherstellung und -anwendung befähigten Individuen in Populationen. Allerdings müssen wohl für das Verständnis der Entstehung des Arbeitsprozesses und im weiteren Sinne auch der mit ihm zusammenhängenden *Entstehung und Entwicklung kulturell-geistigen Schöpfertums*, wie es sich vor allem in den Werken der frühen Kunst manifestiert, zugleich solchen Verhaltenskomponenten wie *Spielverhalten* in Verbindung mit *Neugierverhalten* – beide bei Primaten weit entwickelt – stärker bedacht werden. Verhaltensforscher haben dies auf Grund von Beobachtungen an Tierkindern verschiedentlich hervorgehoben.

In der Entwicklung zum Menschen sind solche Verhaltenskomponenten von hoher Bedeutung und dies nicht zuletzt im Zusammenhang mit der besonders ausgeprägten Neotenie als einem offenkundigen morpho-physiologischen Charakteristikum der menschlichen Individualentwicklung zu bedenken. *Neotenie* bedeutet, dass bestimmte Eigenschaften und Verhaltensweisen aus Jugendstadien stammesgeschichtlicher Ahnen bei stammesgeschichtlichen Nachfahren im Erwachsenenalter weitgehend erhalten bleiben. Beim Menschen zeigt sich das insbesondere in der Ausbildung eines großen Gehirns und der Verlängerung der lernoffenen, spielfreudigen und neugiergeprägten Jugendphase der Individuen. Die damit eröffneten produktionsvermittelten *Möglichkeiten offensiver geistig-kultureller* und überhaupt *humaner Entfaltung* verwirklichten sich aber keineswegs einfach als ein vom Tierreich abrückender Prozess, sondern realisierten sich stets *dialektisch widersprüchlich*. Es handelte sich also um einen Prozess, der nicht einfach durch die neue Qualität geistiger Möglichkeiten geformt ist, sondern in dem – vermittelt durch das Charakteristikum menschlicher Arbeit innerhalb bestimmter Sozialstrukturen – vielmehr stets eine Formung und erneute Umformung des Geistigen stattfindet.

Die über die ältesten Arbeitsgeräte aus Stein und Knochen, die Techniken und Orte ihrer Herstellung und Anwendung sowie die Erhaltung und Nutzung des Feuers

Evolution der menschlichen Individualentwicklung, in: E. Geißler/H. Hörz (Hrsg.), Vom Gen zum Verhalten, Berlin 1987, S. 119-129.

hinausgehenden *Aufschlüsse zur Entwicklung kulturell-geistigen Schöpfertums* liegen für den späten Homo erectus aus einer Zeit vor etwa 350000 bis 300000 Jahre vor, so etwa vom Rastplatz von Bilzingsleben in der DDR.[216] Der Lagerplatz mit den vorgefundenen Hinterlassenschaften lässt nach D. Mania darauf schließen, dass sich dort eine kleinere Gemeinschaft des Homo erectus, eine Horde von etwa 25 bis 30 Individuen, während einer pleistozänen Warmzeit für gewisse Zeit aufgehalten hat. Sie ernährten sich durch Sammeln und besonders durch Jagen, wobei vorwiegend kooperativ Großwild erlegt wurde, wie zerschlagene Skelett- und Gebissreste der Beutetiere und andere Nahrungsüberreste bezeugen. Weiter wurden bisher u. a. neun menschliche Schädelteile und fünf Backenzähne sowie Zeugnisse materieller Kulturen, darunter Grundrisse von drei kleinen, zeltartigen Hütten mit Feuerstellen vor dem Eingang, Werk- und Arbeitsplätze, verschiedenartige Steingeräte – unter ihnen zahlreiche kleine, nur 8 bis 50 Millimeter lange Spezialgeräte aus Feuerstein und handliche Schlagsteine aus Quarzgeröllen zu ihrer Herstellung – sowie Rohmaterial und Abfälle, Geräte aus Knochen, Geweih und Elfenbein sowie Säuren von Holzbearbeitung gefunden.

Besonders hervorzuheben sind Knochengeräte mit eingravierten linearen Ornamenten, andere mit bestimmten Zeichen, zu denen u. a. Dreiecke, Malkreuze und einfache und doppellinige Rechtecke gehören, die einzeln, zu zweit und in Gruppen auftreten und insgesamt ein System von etwa 17 Zeichen bilden, sowie eine mit solchen Zeichen kombinierte Tiergravierung, eine Raubkatze, ganz offensichtlich einen Löwen, darstellend.[217] Zu dieser schreibt G. Behm-Blancke: „Der altpaläolithische Künstler von Bilzingsleben empfing wahrscheinlich seine Inspiration für die Anfertigung der Gravierung von der allgemeinen Vorstellungswelt mit der ihm lebenden Jäger-Sammler-Gemeinschaft. Er machte die Ideenwelt mit Hilfe des Tierbildes und durch Anwendung eines Zeichensystems als ‚Botschaft' sichtbar. Diese vermutlich rituell durchgeführte Aktion muß für die Lebenserhaltung und den Lebenswillen der alt- und jungpaläolithischen Gemeinschaften wichtig gewesen sein: Sie bedeuteten psychische Hilfe bei der Ausübung von Handlungen, die z. B. bei der Durchführung der Jagd starke Konzentration und physische Kraft erfordern. Das Gefühl des Erfolges beherrschte die Jäger bei ihren Unternehmungen."[218]

Behm-Blancke sieht in der Löwendarstellung den Ausdruck einer besonderen Stellung des Löwen – gemäß der Überlieferung aus späterer Zeit der „Herr der Tiere"

216 Vgl. D. Mania/A. Dietzel, Begegnung mit dem Urmenschen, Leipzig – Jena – Berlin 1980; D. Mania, Woher wir kommen (5): Der Urmensch von Bilzingsleben, in: Urania, 10/1986, S. 32-37; D. Mania, Homo erectus – seine Kultur und Umwelt, in: Biologie in der Schule, 11/1986, S. 436-441; D. Mania, Bilzingsleben in der DDR, eine neue Fundstelle mit Resten des Urmenschen in Europa, in: Wissenschaft und Menschheit, Moskau – Leipzig – Jena – Berlin 1987, S. 60-67.
217 Vgl. G. Behm-Blancke, Altpaläolithische Gravierungen von Bilzingsleben, Kr. Artern, in: Ethnographisch-Archäologische Zeitschrift, 3/1983, S. 304-320; in: Urania, 2/1987, S. 56-59.
218 G. Behm-Blancke, Frühe Kunst, a. a. O., S. 58.

– in der Vorstellungswelt der altsteinzeitlichen Jäger von Bilzingsleben. In ihr scheint auch der Bär eine besondere Rolle gespielt zu haben, gibt es doch unverkennbar Indizien für eine besondere Bärenzeremonie, zu der wohl auch gehörte, die Bärenschädel aufzuschlagen, das Gehirn zu entnehmen und zu verzehren. Auf früh- oder prärituelle Verhaltensweisen deuten nach Mania außerdem die menschlichen Überreste selbst hin: „Sie stammen offenbar vom Schädel eines Toten, der eine besondere Behandlung erfuhr, die zweifellos nicht mit aggressivem Verhalten oder den Bräuchen eines aus unserer Zeit bekannten Kannibalismus in Verbindung gebracht werden darf! Entweder ist Patrophage oder ein Schädelkult zu vermuten. In beiden Fällen ist die Behandlung auf den Toten gerichtet, um der Gruppe seine Fähigkeiten zu erhalten oder eine Verbindung zu den Lebenden aufrechtzuerhalten."[219]

So ermöglichen die Funde von Bilzingsleben einen bisher unbekannten komplexen Einblick in die geistige Welt des frühen Menschen, wobei offen ist, wie weit die verschiedenen Phänomene noch weiter in die Vergangenheit zurück verfolgbar sind. Die Spuren der mit einem Alter zwischen 330000 und 450000 Jahren ältesten Behausung des Homo erectus – mit Feuerstelle und Werkplätzen zur Geräteherstellung – wurde in Terra Amata bei Nizza entdeckt.[220] Der wohl älteste als auch unzweideutigste Beleg eines besonderen Umganges mit den Schädeln toter Menschen liegt mit den zwischen 400000 bis 300000 Jahren altem Homo erectus-Fundes von Chonkontien vor. Unter den mehr als 40 gefundenen Schädeln waren zahlreiche, bei denen die Schädelbasis zertrümmert oder das Hinterhauptloch erweitert worden waren, offenbar um das Gehirn zu entnehmen.

Gerade die Problematik des *Kannibalismus als kulturelles Phänomen* ist ein bedenkenswertes Beispiel für die Formung und Umformung des Geistigen. Kannibalismus beim Menschen erweist sich bei näherer Betrachtung keineswegs einfach als Relikt tierlichen Verhaltens – obwohl Fälle der Tötung von Artgenossen und Kannibalismus bei nichtmenschlichen Primaten bekannt geworden sind.[221] Gegenwärtige Überlegungen und Deutungen laufen vielmehr darauf hinaus, Kannibalismus beim Menschen als ein in der geistigen Menschwerdung selbst wurzelndes kulturelles *Übergangsphänomen* zu begreifen; keineswegs ererbt, sondern zu einem relativ späten Zeitpunkt menschlicher Entwicklung erst als eigenes Kulturphänomen hervorgebracht und die weitere Zivilisationsentwicklung bis zu bestimmten gesellschaftlichen Entwicklungsstadien, die in die Gegenwart hineinreichen, als Ausdruck inhumaner Tendenzen begleitend.[222]

219 D. Mania, Homo erectus – seine Kultur und Umwelt, a. a. O., S. 439.
220 Vgl. K. Sklenar, Spuren der Vergangenheit, Leipzig 1984, S. 8 ff.
221 Vgl. J. Itani, Die Tötung von Artgenossen bei nichtmenschlichen Primaten, in: M. Gruter/M. Rehbinder (Hrsg.), Der Beitrag der Biologie zu Fragen von Recht und Ethik, Berlin (West) 1983.
222 Vgl. G. Behm-Blancke, Höhlen – Heiligtümer – Kannibalen, Leipzig 1958, S. 204 ff.; J. Herrmann, Die Entwicklung der Menschheit, Berlin 1974, S. 40 ff.; J. Herrmann, Die Menschwerdung, a.. a. O., S. 167 ff.; „Kannibalismus, in: J. Herrmann (Hrsg.), Lexikon Früher Kulturen, Leipzig 1984.

Überhaupt erweist sich bei näherer Betrachtung die gesamte *Kulturentwicklung* als durchaus *widersprüchlich*; sie ist keineswegs einfach ein Prozess kontinuierlich anwachsender Humanität. Marx hat insbesondere in den „Ökonomisch-philosophischen Manuskripten" darauf hingewiesen, dass *im geschichtlichen Verhältnis von „Tierischem" und „Menschlichem"* innerhalb menschlicher Zivilisationsentwicklung bestimmte *Erscheinungsformen von Unmenschlichkeit und Humanitätsverlust*, von „Tierischem" neu hervorgebracht werden. Diese sind jedoch keinesfalls einfach als „Rückfall ins Tierreich" bzw. als einfache Wiederkehr von Verhaltensformen aus dem Tierreich zu verstehen, sondern *wesentlich durch menschliche Entwicklung selbst produzierte Verhaltensweisen* (zu denen auch entsprechende Denkweisen gehören), deren Inhalt eben *im konkreten historisch-sozialen Zusammenhang* einer *Negation humanistischer Möglichkeiten* entspricht. Dabei kann Menschliches in „Tierisches" ebenso umschlagen wie „Tierisches" in Menschliches.[223]

Letztlich hängt es von der Initiative und den Fähigkeiten der Menschheit selbst ab, ob und in welcher Qualität das so verstandene Verhältnis von „Tierischem" und Menschlichem sich entwickelt und weiterentwickelt. Letztlich wird es ein Problem bewusster Organisiertheit des menschlichen Produktions-Reproduktionsprozesses sein, die künftige *Qualität humanen Menschseins auch selbstbewusst zu gestalten*.

223 Vgl. K. Marx, Ökonomisch-philosophische Manuskripte, in: MEGA, Erste Abteilung, 2. Band, Berlin 1982, S. 367.