

Chemie & Philosophie

Traditionen einer **Philosophie der Chemie**
und neue Ansätze

mit einem Ausblick auf die
Allgemeine System-Theorie

von Rudolf Werner Soukup
mit einem Beitrag von Alfred Locker

Seminar am Institut für Chemische Technologien und Analytik der
Technischen Universität Wien im Wintersemester 2002

When, after I had gone through the common operations of chemistry,
I began to make some seriour reflections on them.

Robert Boyle, "Experiments, Notes etc. about the mechanical
Origin or Production of divers particular Qualities"

Vorwort

Der 6. Aphorismus, den der Physiker Georg Christoph Lichtenberg (1742 – 1799) in sein „Sudelbuch“ unter der Überschrift „Der Umgang mit der Wissenschaft“ eintrug, lautet:

Rousseau hat, glaube ich gesagt: ein Kind, das bloß seine Eltern kennt, kennt auch die nicht recht. Dieser Gedanke läßt sich auf viele andere Kenntnisse, ja auf alle anwenden, die nicht ganz reiner Natur sind: wer nichts als Chemie versteht, versteht auch die nicht recht.

Rund achtzig Jahre später ist es der große Chemiker Justus Liebig (1803 – 1873), der auf die Bedeutung der Reflexion über die Grundlagen unserer Existenz gerade für den Naturforscher hinweist, wenn er schreibt:

Die Fragen nach den Ursachen der Naturerscheinungen, nach den Quellen des Lebens der Pflanzen und Thiere, nach den Bedingungen ihrer Gesundheit und den Veränderungen in der Natur, der wir durch unseren Leib angehören, diese Fragen sind dem menschlichen Geist so angemessen, daß die Wissenschaften, welche befriedigende Antwort darauf geben, mehr wie alle andern Einfluß auf die Cultur des Geistes ausüben. (Justus von Liebig, Chemische Briefe, 1. Brief)

Wie der bekannte englische Chemiehistoriker William H. Brock unlängst in einem Essay Review in der Zeitschrift *AMBIX* feststellte,¹ gab die Philosophie der Chemie viele Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts keine allzu kräftigen Lebenszeichen von sich. Von einigen Ausnahmen abgesehen - zu denen Brock auch einen Beitrag des in Wien geborenen Chemikers Friedrich A. Paneth (1887 – 1958) zählt.²

Ganz kann ich mich dieser Meinung nicht anschließen, denn sie erscheint mir zu sehr am Geschehen in Westeuropa und den USA orientiert. Man kann dem dialektischen Materialismus durchaus kritisch gegenüberstehen, ja seine Thesen ablehnen, Faktum ist, dass insbesondere in den Fünfziger- und Sechzigerjahren in der DDR und der Sowjetunion Arbeiten geschrieben wurden, die durchaus ernstzunehmende Reflexionen der Chemie beinhalten.

Seit etwa zehn Jahren findet die Philosophie der Chemie nun auch in Westdeutschland, England, Holland sowie den USA erstaunlich viele Interessenten. Zahlreiche Anthologien und etliche Monografien wurden publiziert. Ein weiteres Indiz für den Bedeutungszuwachs der Philosophie der Chemie ist das regelmäßige Erscheinen von zwei einschlägigen Zeitschriften seit einigen wenigen Jahren. Seit 1995 erscheint sowohl elektronisch als auch gedruckt „**Hyle. International Journal for Philosophy of Chemistry**“³ (Editor Joachim Schummer, Universität Karlsruhe). Der erste Band der Zeitschrift „**Foundations of Chemistry. Philosophical, Historical and Interdisciplinary Studies of Chemistry**“ wurde 1999 in Dordrecht/Holland publiziert. Herausgeber dieses Journals ist Eric R. Scerri, ein Schüler von Heinz Post. Heinz Post, Professor für Wissenschaftsgeschichte und Philosophie der Wissenschaften am Chelsea College der University of London war Paneths Sohn! Er ermutigte Scerri der Frage nachzugehen, ob die Chemie auf die Quantenmechanik zurückgeführt werden kann.

An der TH Wien sprach der 1875 in Eger geborenen und 1953 in Wien verstorbene Chemiehistoriker Prof. Franz Strunz seit dem WS 1905/06 über Themen einer Philosophie der Technik. Prof. Alfred Locker las in den Siebzigerjahren an der TU „Philosophie der Natur“,

¹ H. W. Brock, Essay Review: The Philosophy of Chemistry, *AMBIX* **49**, 2002, pp. 67 – 71.

² F. Paneth, The epistemological status of the chemical concept of element“, *British Journal Philosophy of Science* **13**, 1962, pp. 1 – 14, 144 – 160.

³ HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry e-mail: listserv@uni-karlsruhe.de Internet: <http://www.hyle.org/journal/issues/8-1/index.html>

und der 1998 verstorbene Professor für Allgemeine und Anorganische Chemie Victor Gutmann war es, der in den Achtzigerjahren die Lehrveranstaltung „Philosophie und Geschichte der Naturwissenschaften“ für Lehramtskandidaten der Chemie als verpflichtend festschreiben ließ.

Entscheidende Anregungen verdanke ich der Lektüre des Büchleins „Philosophische Perspektiven der Chemie, Beiträge zum 1. Erlenmeyer-Kolloquium der Philosophie der Chemie, das an der Universität Marburg 1994 unter der Leitung von Prof. Peter Janich veranstaltet worden ist.“⁴ Mittlerweile sind weitere lesenswerte Tagungsbände zu Erlenmeyer-Symposien gedruckt worden.

Warum gerade dieses Thema? Die Chemie als **Natur-Wissenschaft** hat heute ein grundlegendes Problem. Dieses beginnt schon damit, dass wir keine Ahnung haben, was eigentlich mit dem Vokabel „Natur“ gemeint sein könne. Eine Begegnung mit **Natur** findet kaum mehr statt. Festzustellen ist eine zunehmende Verhäuslichung; Außenräume verlieren an Bedeutung. Eine Verdrängung des Menschen aus offenen Räumen findet statt. Alles wird organisiert. Das Nichtorganisierte wird oft gar verboten. Die Natur ist uns fremd geworden. Vieles wird nur mehr simuliert: Natur aus zweiter oder dritter Hand. Dies führt zur Verinselung und zur Infantilisierung. Stichwort: „Bambisyndrom.“ Im Gegenzug dient die ungezähmte Natur als Klischee-Hintergrund eines Schreckensszenarios.

Mit der **Wissenschaft** gibt es ebenfalls Probleme, insbesondere durch die Konnotation von Naturwissenschaft und Technik. Im allgemeinen Bewusstsein hat sich die Meinung festgesetzt, man brauche sich heute nicht mehr mit den Wissenschaften auseinanderzusetzen, schon gar nicht mit Naturwissenschaft, denn die kompliziertesten, nach undurchschaubaren naturwissenschaftlichen Erkenntnissen hergestellten Produkte kann man heute um relativ wenig Geld im Geschäft nebenan kaufen, man denke nur an einen CD-Player mit Laserabtastung. Vor dem Öffnen des Gerätes wird gewarnt, und ein eigenständiges Reparieren eines derartigen Wunderdinges ist völlig undenkbar. Wozu also noch Physik, sagen sich viele junge Menschen. Mit der Chemie ist es nicht anders. Für jeden nur erdenklichen Zweck gibt es Kleber, Lacke, Putzmittel, Pülverchen. Schließlich quellen Drogerien- und Apothekenregale über mit hochspezialisierten Präparaten für jede nur erdenkliche Lebenssituation.

Niemand darf sich wundern, dass in dieser Situation auch die Vermittlung naturwissenschaftlicher Inhalte im Unterricht in einer Krise steckt. Eine Krise kann eine Chance bedeuten. Eine adäquate Reaktion erscheint mit der Reflexion.

Ein Blick in die Literatur zeigt, dass bezüglich eines solchen Nachdenkprozesses über „Naturwissenschaft“ - jedenfalls bis vor wenigen Jahren - eine eklatante

- **Vernachlässigung der Chemie** (im Unterschied zur Physik) **durch Wissenschaftstheoretiker und Philosophen** (1) festzustellen ist.
- Andererseits (2) ist auch die **Bereitschaft der meisten Chemiker eher gering, sich mit philosophischen Fragen zu befassen.**

Schwierigkeiten sind die Folge.

- Zum Problemkreis 1: Die Chemie war zu allen Zeiten einer der wichtigsten Zivilisationsfaktoren. Eine Ausblendung dieses wichtigen Bereiches führt zu blinden

⁴ P. Janich (Hgb.), Philosophische Perspektiven der Chemie, B.I. Wissenschaftsverlag, Mannheim etc.1994.

Flecken just an Stellen der öffentlichen Diskussion, die von hoher Brisanz sind: Die Chemie ist für viele Bereiche der modernen Medizin grundlegend. Wie sollen die Ergebnisse der modernen Hirnforschung beschrieben werden, wenn die Alltagssprache und die Sprache der Forscher komplett auseinanderfallen? Ist es zulässig, seelische Prozesse auf rein materielle Stoffwechselfvorgänge zu reduzieren? Wie ist das Reduktionismusproblem zu diskutieren? Kann Chemie auf Physik zurückgeführt werden? In welchem Verhältnis stehen überhaupt Chemie und Physik? Sind biologische Prozesse „nichts anderes“ als chemische Vorgänge? Die derzeitige Debatte um die Gentechnologie zeigt eindrücklich die Schwierigkeiten.

Probleme ergeben sich auch beim Zusammenwachsen verschiedener Wissensgebiete. Beispielsweise ist ein Durchdringen der Bereiche Chemie und Informatik zu erwarten. Es kann für den Fortschritt nicht förderlich sein, wenn durch nicht geklärte Begriffe in einer Disziplin Verständigungsschwierigkeiten erwachsen.

- Nun zu den **Problemen der Chemiker** (2). Die laienhafte Philosophie der Chemiker verstellt den Chemikern leicht den Blick auf die Bedeutung ihrer Arbeit. Der Chemiker versteht zwar die Chemie im technischen Sinn, interpretiert sie aber nicht im philosophischen Sinne, d.h. er sieht sie zu wenig als Ergebnis von Handlungen des Menschen mit Gründen und Zielen. Und er ist daher auch nicht in der Lage, die Bedeutung seiner Tätigkeit für eine breitere Öffentlichkeit leicht fasslich darzustellen. Das negative Image der Chemie resultiert aus dieser Diskrepanz. Es ist verabsäumt worden, die Chemie als eine nicht wegzudenkende kulturelle Leistung des Menschen darzustellen.

Als Ergebnis der Versäumnisse wird der Ruf nach einer „Ethik der Chemie“ oder allgemeiner einer „Ethik der Technik“ laut. Voraussetzung für eine derartige Ethik ist eine Reflexion dessen, was Chemie ist, d.h. eine Philosophie der Chemie. Erst wenn man wesentliche Eigenschaften chemischer Systeme begriffen und die Rolle des Menschen bei natürlichen oder technischen Veränderungen ins Auge gefasst hat, darf man hoffen, adäquate Antworten auf die Fragen nach Gut und Böse zu finden, zumal Gut und Böse auch etwas mit der Stabilität von Systemen zu tun haben könnten.

Anlass für die Niederschrift dieses Bändchens war ein Seminar am Institut für Mineralogie, Kristallographie und Strukturchemie an der TU Wien für Lehramtskandidaten im WS 2001/02 (heute Institut für Chemische Technologien und Analytik/ Bereich Strukturchemie). Der Autor dankt nicht nur allen Kollegen, die bei der Erstellung des Manuskripts geholfen haben, sondern auch Herrn Prof. Robert Höchtel sowie den Studenten Birgit Ebner, Daniela Lindner, Richard Fink, Martina Kolbinger, Klaus Wartmann, Heidelinde Warton und Herrn Dipl. Ing. Roman Weigl, die interessante Anregungen und Hinweise beigesteuert haben.

Perchtoldsdorf, im September 2002

R. W. S.

Inhalt

Was ist Chemie?

Etymologie
Definitionen für „Chemie“ aus fünfzehn Jahrhunderten

Die chemische „Affinität“ – Relationalität par excellence

Die Geschichte der chemischen Affinität

Auf der Suche nach dem alles umfassenden Bauplan

Die Geschichte der Atomtheorie - die Geschichte der Annäherung von Chemie und Physik
Fakten, Reflexionen und Fragen zur Stabilität der Materie

Kants metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft

Platonische Körper und archetypische Konzepte in heutiger Chemie

Neoplatonistische Molekülgeometrie
„*Ev to pav.*“ Mandalaförmige chemische Signaturen
„*Wie lehrt die Natur zu geben und zu nehmen ?*“ Zur Geschichte dualistischer chemischer Theorien

„...und du wirst die gesuchte Sache finden.“ Die ganzheitliche Sicht der Alchemie

Das *hyle – morphe* Konzept des Aristoteles
Die Natur erfreut sich der Natur
Die Goldkunst des Stephanos von Alexandria
Die Visionen des Zosimos
Aurora Consurgens: Die aufsteigende Morgenröte als Symbol der Gegensatzvereinigung
Vom hyleatischen Chaos

Erde, Wasser, Feuer, Luft. Die Frage nach der Zahl der Elemente

Konkurrierende Konzepte
Verteilung und Entstehung der Elemente

Bewegung versus Stillstand. Bemerkungen zur chemischen Thermodynamik

Hermann Heinrich Heß: Die bei chemischen Reaktionen entwickelte Wärme
Julius Robert Mayer: Wärme ist eine Form der Energie
Berthelots Prinzip der maximalen Arbeit contra Vant Hoffs Kältemischungen
Ludwig Boltzmann: Entropie als Verteilung von Energie auf mikroskopische Zustände
Natürliche chemische Prozesse auf der Oberfläche unseres Planeten sind Kreisprozesse
Ludwig von Bertalanffy: Lebendige Systeme existieren im Fließgleichgewicht
Ilya Prigogine: Vom Sein zum Werden
Die Erde als Photonenmühle
Die Frage nach der Rolle des menschlichen Bewusstseins
Alfred Locker: Vorstoß zu einer Transklassischen Systemtheorie

Mehrfach benutzte Nachschlagewerke

Alfred Locker: Allgemeine System-Theorie. Mit Ausblick auf ihre Weiterentwicklung zu einer Transklassischen System-Theorie. Eine Einführung

„...der geheimste Schatz unter allen Geheimnissen der ganzen Welt“ oder: Was ist Chemie?

Der Geist der Chemie ist undeutlicher, verborgener;
er ähnelt mehr den Gemischen, deren Prinzipien verworren sind;

Bernhard Le Bouvier de Fontenelle (1657 – 1757)

„Sag, was bedeutet eigentlich das Wort *Chemie* ?“ Vor kurzem stellte mir ein Kollege diese Frage. Die Antwort darauf ist gar nicht so einfach; jedenfalls wäre die Antwort nach der Etymologie der Worte „Physik“ oder „Biologie“ leichter.

Bereits in frühen Schriften zur *Chrysopoeia* („Goldkunst) findet man den Begriff *χημια* (chemia) – so z.B. in den Schriften des Stephanos von Alexandria im 7. Jahrhundert n. Chr. Die Etymologie des Wortes „Chemie“ basiert auf unterschiedlichen Bezügen, die durch verschiedene Lesarten und Deutungen bedingt sind; Konsonantenumstellungen in alter Zeit spielen dabei eine Rolle.⁵ Im Ägyptischen bedeutete *km.t* schwarz, das Schwarze und das schwarze Land, das Schwarzland (koptisch: *keme*). Letzteres war das Synonym für die vom Nilschlamm dunkel gefärbt fruchtbare Erde, nämlich Ägypten. Unter *chemia* ist aber auch die im Nildelta ausgeübte „ägyptische (schwarze) Kunst“ verstanden worden. Der weitgereiste Gelehrte Plutarch (46 – 120 n. Chr.), der die Anfänge der chemischen Kunst in Unterägypten vielleicht selber gesehen hat, spricht ausdrücklich von dieser Ableitung des Wortes aus dem Ägyptischen und fügt hinzu, dass eigentlich *das Schwarze im Auge* gemeint sei – also, sagt er, ein Geheimnis!

Alexandria im Nildelta war für viele Jahrhunderte das Zentrum alchemistischer Tätigkeit. Hauptwirkungsstätte war dort das *Museion*, eine unter dem Schutz der Musen gestellte Institution für die Gelehrten.

Eine andere Deutungsmöglichkeit des Wortes „Chemie“ geht aus von den griechischen Wörtern für gießen *χεω* (*cheo*), Saft *χυμοζ* (*chymos*), Metallguss *chyma*, bzw. Gießkunst *chymeia*. Der römische Kaiser Diocletian (Regierungszeit 284 – 305 n.Chr.) befahl 301 die Verbrennung aller Schriften zur „*chemeia* des Silber und Goldes“, womit er die Schriften zur Herstellung von Silber- und Goldimitationen zum Zwecke der Falschmünzerei verstand. In diesem Sinn ist unter *chemeia* die Fälschung zu verstehen. Hier würde sich ein Bezug zu *cheme* ergeben, womit ursprünglich eine aus dem Saft der Gienmuschel gewonnene gelbe Farbe gemeint war, die zum Färben von Wolle, aber auch zum Anfärben von Edelsteinen im Sinne eine „Tingierung“ in einer „Tinktur“ genutzt. (*tingere* lat. färben; für eine ähnliche Bedeutung steht das färbende *xerion*, gr. Streupulver, daraus ar. *el-ixier*). In einer übertragenen Bedeutung stand *cheme* für „Gelbmachen“, d.h. zu Gold machen, also transmutieren.

Aus der *chymeia* des Späthellenismus wurde in arabischer Zeit die *al-kimya*, die *ars alchemia*, die Alchemie des Mittelalters. Arabische Texte wurden ab dem 12. Jahrhundert ins Lateinische übersetzt. Nach der Eroberung des Pandschabs durch die Araber sind Einflüsse auf die arabische Kultur aus dem fernöstlichen Raum nachweisbar. Vor einiger Zeit wurde

⁵ S. Engels, „Chemie“ in: ABC Chemie, Verl. f. Grundstoffindustrie 1989, p. 107.

das aus dem Südchinesischen stammende Wort *Kim-Iya* (goldmachender Saft) als Stammwort diskutiert.⁶

Von allem Anfang an ist die Chemie mit einem Schleier des Geheimnisses umgeben. Dies erinnert uns an die große Göttin Naturgöttin Isis im Tempel zu Sais, die immer nur verschleiert zu sehen war; Sais ist keine 100 km von Alexandria entfernt.

Definitionen für „Chemie“ aus fünfzehn Jahrhunderten

„Hört es, ihr Schüler der alten Philosophen, ich will es, so laut ich nur kann, verkünden. Ich komme, euch eine außerordentliche Angelegenheit aus dem Bereich des menschlichen Daseins kundzutun, den geheimsten Schatz unter allen Geheimnissen der ganzen Welt...“ Mit diesen unbescheidenen Worten beginnt einer der meistgelesenen mittelalterlichen alchemischen Texte, das „Rosarium Philosophorum“.

Ein Hauch der überschwänglichen Lobpreisung der Chemie ist noch in einer 1927 erschienenen „Chemie für Alle“ des Zürcher Professors Ernst Rüst übrig, wenn er schreibt: *„Alle chemischen Vorgänge haben bei unbefangener Betrachtung etwas Wunderbares, im Grunde Unverständliches an sich. Wie soll man es verstehen, daß aus dem flüssigen silberglänzenden Quecksilber und dem spröden Schwefel der prachttvolle feurigrote Zinnober entsteht! Oder daß der Chemiker aus dem übelriechenden, häßlich schmeckenden Teer die wohlriechenden Blumendüfte, das süße Saccharin und die leuchtendsten Farbstoffe darstellt! Ist es da nicht selbstverständlich, daß unsere Erwartung aufs höchste gespannt wird, und daß wir das Unmöglichste von dieser wunderbaren Kunst verlangen?“*

Was aber ist Chemie? Beginnen wir mit sehr frühen Beschreibungen des Geltungsbereiches und der Einteilung der Chemie. **Stephanos von Alexandria** legt um 610 n. Chr. in einer seiner Vorlesungen „Über die Kunst der Goldherstellung“ seinen Schülern folgende wesentliche Unterscheidung ans Herz:

Es gibt zwei Arten der Chemie ($\chi\eta\mu\alpha$), die mythische und die mystische. Die mythisch-legendäre Chemie ist verstrickt in eine Vielzahl von Worten, die mystisch-verborgene hingegen bewirkt mit dem $\lambda\omicron\gamma\omega\sigma$ die Weltschöpfung, auf dass der Gott zugewandte und aus Gott geborene Mensch durch unmittelbare Operationen und theologische bzw. mystische Sprüche lernen möge. Das Verfahren der mystischen Chemie beruht auf Symbolen.

Dabei beginnt Stephanos seine Vorlesungen mit einem wunderbaren Hymnus auf Allmutter Natur:

NATUR, DU ÜBERNATÜRLICHE !

DU überwindest die Naturen,
dich selbst übersteigend in deiner Ordnung...

aus DIR erhältst Du das All,
selbst stoffloser Stoff, birgst DU den Stoff...

DU Körper ohne Körper machst Körper körperlos...

DU in die Weite klingender Akkord der vier Elemente...

DU Magnetstein, der das Allgeheimnis zusammenhält...

⁶ H. J. Sheppard, *Alchemy: "Origin or Origins?"*, AMBIX XVII, 1970, p. 71.

DU - der weisesten Gedanken kunstvolle Beschäftigung und der Auserwählten weiseste Kunst

DU - der Nichteingeweihten unerforschbares Meer und der Eitlen stetige Irre

DU - der Hochmütigen rußendes Scheit und der Ehrfürchtigen reine Flamme

DU - der Tugendhaften ungetrübte Anschauung und der tätig Wissenden süß duftende Blüte...

Die Chemie war damals eine *chrysopoeia*, eine „Goldkunst“. War sie bloß eine vermeintliche Kunst, Gold (nicht) herzustellen, oder war sie wirklich die wahre goldene oder königliche Kunst? Wir wollen diese Frage hier zunächst unbeantwortet lassen und Zeugnisse aus späterer Zeit in Augenschein nehmen.

Paulus von Tarent betont in der Vorrede seiner um 1270 geschriebenen „Summa perfectionis magisterii“ ebenfalls die Wichtigkeit der richtigen Einstellung des Adepten zur Natur, wenn er die *ars chymica*, die chemische Kunst, betreibt.

Wisse, mein Lieber, dass man von dieser Kunst weit entfernt ist, wenn man nicht die Anfangsgründe der Natur, (principia naturalia, auch als „Urstoffe“ zu übersetzen, gemeint sind Schwefel und Quecksilber) kennt, denn dann hat man nicht die wahre Grundlage, auf der man seinen Arbeitsplan gründen kann. Und wenn auch einer diese Urstoffe und den Ursprung der Mineralien kennt, so hat er doch noch nicht das wahre, nützliche Ziel unserer höchst geheimnisvollen Kunst erreicht.... Wer aber die Urstoffe, den Ursprung und die Entstehungsweise der Mineralien kennt, wie sie nach dem Plane der Natur festgesetzt ist, der ist der Erfüllung des Werkes nahe...

Andreas Libavius schrieb im Jahre 1597 das erste Kompendium der Chemie, wenn er es auch „Alchemia“ nannte. Noch zählt die Chemie zu den Künsten:

Alchemie ist die Kunst, Magisterien zu vervollkommen und reine Essenzen aus Gemischtem durch Abtrennen des Corpus zu extrahieren. Weil diese beiden Aufgaben allgemein in dem Wort laborieren zusammengefasst werden, könnte man auch von der **Kunst, gut zu laborieren** (ars bene laborandi) sprechen oder von der **Kunst der Scheidung des Reinen vom Unreinen**... Ihren Ausgang nimmt sie von der Natur, die die ersten Scheidekünstler mit Geschick nachzuahmen suchten, und zwar anfangs ganz besonders durch das Extrahieren der mineralischen Spezies aus der Erzader mit (nachfolgender) Reinigung, auf welche Weise die Natur selbst lautere, reine Metalle und Säfte aus den Minen hervorquellen lässt, so dass man sie sogar offen aus ihren Adern zutage treten sieht. Deshalb hat (die Alchemie) ehemals in der Metallurgie die größte Bedeutung gehabt. Jetzt dient sie mehr der Medizin und erstreckt ihre Bemühungen nicht nur auf das Mineral- sondern auch auf das Tier- und Pflanzenreich, zum Nutzen des Menschen und zum Schutze seiner Gesundheit, obwohl sie auch sehr viel zur Annehmlichkeit des Lebens (ornamenta vitae) beiträgt.

Kaiser Rudolfs II. Leibarzt **Martin Ruland d. J.** definiert in seinem 1612 erschienenen „Lexicon Alchemiae“: „*Chemia sey vnnd heisse ein schmetz vnd giesse Kunst/ ein scheidkunst...* Paracelsus zitierend schreibt er schließlich: „*die Natur gibt nits an Tag/ daß auff sein Statt vollendt sey: sondern der Mensch muß vollenden/ die vollendung heißt Alchemia...*“

Joseph Franz Freyherr von Jacquin meinte 1792 in seinem „Lehrbuch der allgemeinen und medicinischen Chemie“: „*Die Chemie ist jener philosophische Theil der Naturkunde, welcher uns die innere Beschaffenheit aller Körper unserer Erde darstellt; ...*“

Und **F. Krafft**, der Professor in Heidelberg war, stellte im Jahre 1900 (Kurzes Lehrbuch der Chemie) fest: „*Vorgänge aus dem Gebiete der Chemie sind solche, bei welchen die Zusammensetzung der Körper eine wesentliche Veränderung erfährt.*“

A. F. Hollemann erlaubte sich in der 9. Auflage seines Lehrbuches der Anorganischen Chemie von 1911 einen langen Exkurs in die Philosophie, wenn er schrieb:

Die Chemie ist ein Teil der Naturwissenschaft, d. h. der Wissenschaft, die sich mit der Beschreibung der Gegenstände in der Natur und mit der Erforschung der Gesetze, nach denen sich die Vorgänge in ihr vollziehen, beschäftigt. Wir gelangen zu dieser Kenntnis von den Zuständen in der das Einzelwesen umgebenden Außenwelt durch Wahrnehmung mittels unserer Sinnesorgane, die Gegenstände selbst lernen wir jedoch nicht kennen. Wenn wir einen entfernten Gegenstand mit unserem Auge wahrnehmen, so beruht dies auf einer von den Lichtstrahlen bewirkten Reizung der beiden Netzhäute, deren Erregung zum Gehirn fortgeleitet wird und hier zum Bewußtsein kommt. Von Dingen, die uns unmittelbar erreichbar sind, verschaffen wir uns eine Vorstellung durch Berühren oder Betasten. Durch die Nervenfortsetzungen in den Fingerspitzen werden die Tastenerregungen zum Gehirn geleitet, wo sie in Empfindungen umgesetzt werden. Die Frage ist deshalb gerechtfertigt, **ob die von uns erkannten Dinge auch wirklich so beschaffen sind, wie sie auf unsere Sinne einwirken, ja sogar, ob sie überhaupt außerhalb unserer Person vorhanden sind. ... Die Naturwissenschaften ... beschäftigen sich also, wenn man sich genau ausdrücken will, nicht mit den Dingen selbst, sondern mit dem Studium der Sinneseindrücke. Die Sinneseindrücke treten für uns an die Stelle der Dinge, die wir an sich nicht kennen. Wir betrachten sie als die Dinge selbst.**

In der 90. Auflage des gleichen Lehrbuches von 1976 ist die Definition sehr lapidar gehalten: „*Die Chemie ist die Lehre von den Stoffen und Stoffänderungen, die Physik – ihre Schwesterwissenschaft – die Lehre von den Zuständen und Zustandsänderungen.*“ Chemie – die Lehre von Stoffen? Stoff, was ist das? Unvoreingenommene Schüler werden hier am ehesten noch an Textilien denken. Heute erscheint uns diese Formulierung antiquiert.

Aber können wir uns damit abfinden: **P. W. Atkins** (General Chemistry 1989): „*Chemistry begins in the stars... Chemistry is the science of matter and the changes it can undergo. Matter is everything that takes up space...*“ Schon Pauling bemerkte in seinem Lehrbuch General Chemistry 1953, dass eine derartige Definition gleichzeitig zu weit und zu eng ist. Die Chemie befasst sich keineswegs mit allen Zuständen und Änderungen der Materie. Aber sie muss sich auch mit der Strahlung befassen. Ohne Röntgendiffraktometrie und ohne Neutronenbeugung keine moderne Chemie.

Januschewsky und Jarisch sind in ihrem Lehrbuch von 1981 einen anderen Weg gegangen: „*Die Chemie untersucht die Baupläne, d. h. die Struktur der Materie.*“ Auf die Atome rekurriert die **Brockhausdefinition** (Brockhaus-Enzyklopädie in 24 Bänden 1987, Bd. 4):

Chemie: Naturwissenschaft, die sich mit dem Aufbau und der Umwandlung von Stoffen beschäftigt. Chemische Stoffumwandlungen (chemische Reaktionen) sind Vorgänge, bei denen Atome infolge chemischer Bindungen in definierten Zahlenverhältnissen zu Atomverbänden (Molekülen, Kristallen) zusammentreten oder bei denen Atomverbände in Atome zerfallen oder zu anderen Atomverbänden umgelagert werden.

All der verschiedenen Definitionen überdrüssig versuchte sich der Autor dieser Zeilen – angeregt durch eine Tabelle des Energiespektrums physikalischer Phänomene in Wichmanns Berkeleykurs „Quantenphysik“ (2. Aufl. 1985) – an einer **Definition der Chemie über die Energie**. In einer Skala beginnend bei der auf Energie umgerechneten Masse eines Protons mit beinahe $1 \cdot 10^{14}$ J/mol und der Energie der Präzessionsfrequenz des Protons mit ca. $1 \cdot 10^{-3}$ J/mol bewegen sich die Bindungsenergien chemischer Spezies zwischen etwa $3 \cdot 10^7$ J/mol für N_2 und ca. $1 \cdot 10^2$ J/mol für das nur wenige °C über dem absoluten Nullpunkt stabile He_2 . Man kann selbstverständlich auch behaupten, dass die Energie der Wasserstoffbrücke OHO das untere Ende der Skala mit etwa $2 \cdot 10^5$ J/mol bedeutet. Wie man es auch drehen und wenden mag, der Bereich der Chemie bleibt auf dieser Ordinate, die im Ganzen ungefähr 18 Größenordnungen umfasst, mit drei - oder wenn es hoch hergeht fünf - Größenordnungen in eher bescheidenen Grenzen.

Der Weisheit letzter Schluss aber scheint diese Sicht der Dinge zu sein: **J. A. Campell** („Allgemeine Chemie“ 2. Auflage 1990): *„Die Chemie ist eine Art, den Menschen, seine Umgebung und seine Probleme zu sehen ... Jede Forschung in den Naturwissenschaften ... sollte als Teil einer Gesamtstudie des Menschen ... gesehen werden.“*

Als besonders kreativ erscheint mir die sich über beinahe eine Seite erstreckende Definition der Chemie in der 1990 erschienenen „Europäischen Enzyklopädie zu Philosophie und Wissenschaft“.⁷ Peter J. Plath, der Autor des Artikels, forciert die heutige im Alltagsbewusstsein eines im deutschen Sprachraum lebenden Durchschnittsbürgers vorliegende Bestimmung des Begriffes „Chemie“. Er schreibt: *„Chemie ist das Unbekannte, die faßbar gewordene Unverständlichkeit der sozialen Macht; es ist das Öl und das Schwanken des Ölpreises,... der Hunger in der dritten Welt; es sind die vergifteten Fische, die Müllberge, die krank machenden Arzneimittel. Chemie ist das, wogegen wir uns nicht wehren können, das, was mit uns geschieht. Obwohl eindeutig zur Chemie gehörig, ist Chemie in diesem Sinne nicht das Benzin unserer Autos, nicht der Dünger in der Landwirtschaft, nicht das Glas und nicht das Eisen unserer Hüttenwerke, nicht das Perlon des Strumpfes oder die baumwollverstärkende Polyesterfaser unserer Hemden, nicht die heilende Medizin, nicht die anziehend machende Kosmetik, nicht der Wein, den wir genießen oder das Bier, das wir trinken. Chemie ist eben all dies gerade nicht, dessen wir täglich bedürfen. Chemie ist heute, wie seit Jahrtausenden, Sinnbild und Verkörperung des Unheimlichen, sie ist gesellschaftliche Magie. Die Chemie ist heute wie ehemals Al-Chemie.“* (p. 460)

Dem ist leider wenig hinzuzufügen, weil die Analyse richtig ist. Ist etwas schief gelaufen, dass nach 300 Jahren Chemie wieder eine Situation eingetreten ist, von der wir glaubten, sie sei längst überwunden?

⁷ H. J. Sandküler (Hgb.), Europäische Enzyklopädie zu Philosophie und Wissenschaft, Meiner-Verl. Hamburg 1990, Band 1, pp. 459 – 467.

Die chemische „Affinität“ – Relationalität par excellence

So schließen wir uns denn gleich, sagte der Hauptmann, an dasjenige wieder an, was wir oben schon benannt und besprochen haben. Zum Beispiel was wir Kalkstein nennen, ist eine mehr oder weniger reine Kalkerde, innig mit einer zarten Säure verbunden, die uns in Luftform bekannt geworden ist. Bringt man ein Stück solchen Steines in verdünnte Schwefelsäure, so ergreift diese den Kalk und erscheint mit ihm als Gips; jene zarte luftige Säure hingegen entflieht. Hier ist eine Trennung, eine neue Zusammensetzung entstanden, und man glaubt sich nunmehr berechtigt, sogar das Wort Wahlverwandschaft anzuwenden, weil es wirklich aussieht, als wenn ein Verhältnis dem andern vorgezogen, eins vor dem andern erwählt werde.

Verzeihen Sie mir, sagte Charlotte, wie ich dem Naturforscher verzeihe; aber ich würde hier niemals eine Wahl, eher eine Naturnotwendigkeit erblicken, und diese kaum; denn es ist am Ende vielleicht gar nur die Sache der Gelegenheit: Gelegenheit macht Verhältnisse, wie sie Diebe macht; und wenn von Ihren Naturkörpern die Rede ist, so scheint mir die Wahl bloß in den Händen des Chemikers zu liegen, der diese Wesen zusammenbringt.

Goethe, Die Wahlverwandschaften, 1. Teil, 4. Kapitel

In jedem Chemiestudium besteht ein wichtiger Lernschritt darin, die Unmöglichkeit einer simplen Etikettierung von Substanzen zu begreifen, sobald es um spezifisch chemische Eigenschaften geht. Stoffe sind nicht schlechtweg in giftige und ungiftige einzuteilen. Es kommt auf die Umstände an, auf die Dosis, auf einen vorangegangenen Gewöhnungseffekt, auf gleichzeitig anwesende Antidota, eventuelle Stresszustände etc. Man könnte nun geltend machen, dass es bei der toxischen Wirkung auf Organismen um die Wechselwirkung mit einem extrem komplexen System geht. Es stellt sich aber heraus, dass dasselbe Phänomen auch bei den einfachsten chemischen Klassifikationsbegriffen auftritt. Hat sich der angehende Chemiker endlich daran gewöhnt, den Stoff A – sagen wir z.B. Wasserstoffperoxid – als starkes Oxidationsmittel anzusprechen, so muss er erfahren, dass dieses Reagens, sobald es mit einem noch „stärkeren“ Oxidationsmittel B (das kann eine Kaliumpermanganatlösung sein) zusammentrifft, selber oxidiert wird.

Chemische Eigenschaften manifestieren erst im Verlauf einer Wechselwirkung. Bei den klassischen nasschemischen analytischen Verfahren muss eine gewisse Probemenge „geopfert werden“, damit sie mit einem Reagens zu irgendeinem gefärbten oder schwerlöslichen neuen Produkt reagiert. Auch das Element Kalium verrät sich bei der klassischen Flammenfärbungsuntersuchung erst dann, wenn es aus seinen Salzen in den flüchtigen Zustand übergeführt, in der Flamme in den atomaren Zustand reduziert und schließlich in einem angeregten elektronischen Zustand transformiert wurde. Im Massenspektrometer verdampft die Probe nicht nur, sie wird zu einem Molekülion ionisiert, das zum größten Teil in der Folge zu Fragmenten zerfällt. Selbst bei so beliebten Gaschromatografie liegt die Probe, wenigstens im Moment der Messung, nicht in der ursprünglichen Form vor. Kein Chemiker ist je auf die absurde Idee verfallen „ungestörte“ Objekte in den Blick bekommen zu wollen.

Nicht nur in der analytischen Chemie werden die verschiedensten Spezies aufeinander losgelassen, um neue Informationen zu erhalten. Es stellt sich heraus, dass die Information, je nach dem Reaktionspartner, eine andere ist. Wasser reagiert mit gasförmigem Chlorwasserstoff im Sinne einer Brønsted-Base, mit Ammoniak als entsprechende Säure. Das altvertraute Wasser ist also sowohl Säure als auch Base! **Es kommt auf die Umgebung an.**

Zugegeben - die Einführung einiger „physikalischer Methoden“ haben die erkenntnistheoretische Situation ein wenig verschleiert. Mit der Erwähnung der „physikalischen“ spektroskopischen Methoden haben wir aber in gewisser Weise das angestammte Territorium der Chemie verlassen und finden uns wieder im Bereich der Physik. Die Physik glaubte Jahrhunderte lang, **Erkenntnisse über isolierte Objekte** (rollende Kugeln, Planeten, Elementarmagnete etc.) gewinnen zu können. Es ist im Rahmen der klassischen Mechanik tatsächlich möglich, einem Körper eine Masse zuzuschreiben ohne tausende Messungen in verschiedenen Umgebungen und unter den unterschiedlichsten Umständen durchführen zu müssen. Erst die Relativitätstheorie hat diesen Glauben erschüttert, nach ihr sind sogar Längenmessungen von der relativen Geschwindigkeit des „Objektes“ gegenüber dem Beobachtersystem abhängig. Vollends den Boden unter den Füßen weggezogen hat diesem wenig reflektierten Glauben die Quantentheorie. Aber bis heute ist die wirkliche Bedeutung dieser prekären Situation für unsere Erkenntnis leicht auszublenden gewesen. Man konnte (schlechten Gewissens zwar, aber doch) behaupten, dort, wo diese Effekte zum Tragen kommen, handle es sich um „Spezialfälle“; das muss nur berücksichtigt werden - so kann man vielfach hören -, wenn es um sehr kleine Dimensionen geht, oder wenn sehr hohe Geschwindigkeiten auftreten. Wir leben aber in genau dieser Welt. Man denke nur an die Geschwindigkeit des Lichtes - ohne welches wir nichts, absolut nichts sehen könnten. Und es sind die unter keinen Umständen mehr an einem bestimmten Ort anzutreffenden Elektronen (die delokalisierten Valenzelektronen), die im metallischen Gold den hübschen Glanz hervorrufen.

Ganz besonders deutlich wird der besondere Charakter der Wissenschaft Chemie, wenn es um den Begriff der „chemischen Eigenschaften“ eines Stoffes geht. Das Hauptinteresse der Chemiker ist beim Studium einer bestimmten Verbindung meist nicht darauf gerichtet, den stabilen Zustand zu beschreiben, sondern Reaktivitäten. Der bekannte theoretische Chemiker Walter Hückel hat darauf aufmerksam gemacht: *„Mit der Kenntnis der Struktur und den Bindungsverhältnissen 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.“*⁸ Die chemischen Eigenschaften sind **relativ**; sie bestimmen eine Verbindung nicht an sich, sondern unter Berücksichtigung ihrer Umgebung.⁹ Hückel drückte dies folgendermaßen aus: *„Chemische Eigenschaften sind aber nicht in einem Stoff allein begründet, sondern verlangen einen Reaktionspartner.“* Chemische Eigenschaften sind demnach **Reaktionsmöglichkeiten**. Der russische Chemiker I. J. Bykow bemerkte treffend: *„Die chemischen Eigenschaften eines Stoffes sind die Arten seiner Vernichtung.“*¹⁰

Im Folgenden soll mit Hilfe der Geschichte des zentralen chemischer Begriffs der Affinität herausgearbeitet werden, in welcher Weise sich die Chemie immer von der Physik unterschied: **Es ist der relationale Charakter der chemischen Begriffswelt, der die Chemie von der Physik als eine deutlich anders operierende Disziplin abhebt.** Ein erstaunlich hoher Anteil noch heute üblicher chemischer Begrifflichkeit stammt aus uraltem Erbe, nämlich aus der Alchemie.

⁸ W. Hückel, Anorganische Strukturchemie, Stuttgart 1948, p. 879.

⁹ H. Laitko und W-D. Sprung, Chemie und Weltanschauung, Urania-Verl., Leipzig etc. 1973, p. 95.

¹⁰ I. J. Bykow, „Über die historische Entwicklung und die Definition des Begriffes „Chemische Verbindung“, in: Filossofskij woprossy fiziki i chimii, Swerdlowsk 1959, p. 93.

Die Geschichte des chemischen Affinitätsbegriffes

Seit der Mitte des 13. Jahrhunderts geistert durch die Alchemie - eingeführt von Albertus Magnus († 1280) - ein Begriff, den man in stark verwandeltem Gewand noch in der heutigen Chemie antrifft: die Affinität. „... *sulfur propter affinitatem naturae metalla adurit*“, schrieb Albertus in „De mineralibus“ IV: Der Schwefel greift die Metalle wegen seiner verwandten Natur an. Möglicherweise knüpfte Albertus vermittels arabische Überlieferung an ein Konzept des griechischen Arztes Hippocrates an.

Im Supplementband der Encyclopédie Diderots von 1776 findet man folgende Beschreibung der Bedeutung der alten Affinität: „*Dieser Ausdruck hat lange nur einen verschwommenen und unbestimmten Sinn gehabt, der eine Art Sympathie anzeigte, eine echt verborgene Eigenschaft, dank welcher sich verschiedene Körper mehr oder weniger leicht vereinigen.*“

Das alte lateinisch Wort *affinitas* bedeutet „Verwandtschaft (durch Heirat)“, „enge Verbindung (zweier Dinge)“, wobei das dazugehörige Adjektiv *affinis*, indem es aus *ad* und *finis* gebildet wurde, eigentlich „an der Grenze befindlich“, „nahestehend“ bedeutet. Wenn also eine *affinitas* zwischen zwei Spezies festgestellt wird, so folgt daraus, dass diese zwei Dinge **in einer nachbarschaftlichen Relation zueinander stehen**. Sie existieren irgendwo in der gleichen Region und haben wenigstens ein Grenzgebiet gemeinsam. Zwei affine Dinge müssen zueinander **in einem Verhältnis stehen**.

„*Verbinde das Weibliche mit dem Männlichen und du wirst das Gesuchte finden.*“ So lesen wir eine Anweisung zur Herstellung bestimmter Substanzen bei der berühmten Alexandrinischen Alchemistin Maria die Jüdin im 1. oder 2. nachchristlichen Jahrhundert. Das Konzept einer chemischen Verbindung im Sinne einer sexuellen *coniunctio* ist demnach ein sehr altes.

Eine erste **Reihung der klassischen Metalle nach dem Grad ihrer Verwandtschaft** nimmt der Autor der „Summa perfectionis“, Geber latinus (Paulus von Tarent), im späten 13. Jahrhundert vor. Er stellt fest, dass nach der „Wirksamkeit“ dem Gold zunächst das Kupfer „verwandt“ ist. Dann kommt das Silber, gefolgt von Zinn und Blei. Den Schluss macht das Eisen (Kap. 32).

Das „Rosarium Philosophorum“, eine Sammlung alchemistischer Texte des 14. Jahrhunderts zählt die *affinitas* unter sieben stofflichen Eigentümlichkeiten auf - nebst der Öligkeit, der Feinheit, der Feuchtigkeit, der Reinheit, dem Glanz, einer beständigmachenden Erdigkeit und der Färbekraft. Die *affinitas* wird definiert als ein „Haftenbleiben“ bei der Begegnung eines Stoffes mit einem anderen, ein „Festhalten“.¹¹

¹¹ Unproblematisch war der Begriff von Anfang an nicht. Wenn ein Stoff zu einem zweiten affin ist und dieser zu einem dritten, muss nicht auch eine gewisse Relation des ersten zum dritten bestehen? Die Bereitschaft des Schwefels mit Quecksilber die stabile Verbindung Quecksilbersulfid (Zinnober) zu bilden, wurde als Affinität des Schwefels zum Quecksilber bezeichnet. Auch das Eisen verbindet sich leicht mit dem Schwefel, ist ebenfalls zum Schwefel affin. Rätselhaft war, dass Eisen und Quecksilber aneinander wenig Gefallen finden; es erfolgt keinerlei Amalgambildung.

Die alte „Affinität“ war ein Begriff, der zu einer Disziplin gehörte, die sich seit jeher von der Physik deutlich unterschied.¹² Der französische Philosoph Bernhard Le Bovier de Fontenelle (1657 – 1757) charakterisierte die Chemie im Jahre 1699, indem er schrieb:

Die Chemie löst durch sichtbare Operationen die Körper auf in bestimmte grobe und mit den Händen greifbare Prinzipien, Salze, Schwefel und so fort; doch die Physik wirkt durch feine Spekulationen auf die Prinzipien ein...; sie löst sie wiederum in andere, noch einfachere Anfangsgründe auf, kleine bewegliche und auf unendlich viele Weisen figurierte Körper ... **Der Geist der Chemie ist undeutlicher, verborgener;** er ähnelt mehr den Gemischen, deren Prinzipien verworren sind; der Geist der Physik ist einfacher, entwickelter; schließlich geht er bis auf die ersten Ursprünge zurück, während der andere nicht bis zum Ziel gelangt.

Kurz gefasst läuft der angesprochene Unterschied auf das bekannte Diktum hinaus: *Die Physik kann man verstehen, die Chemie muss man erlernen.* In dieser Situation war für viele jeder Versuch, ein Ordnungsschema für die bekannten (mehr oder weniger reinen) Substanzen (Säuren, Salze, Metalle etc.) anzugeben, hoch willkommen. Der zunächst als Apotheker, dann als Arzt ausgebildete Professor an der Universität Paris Étienne-François Geoffroy (d. Ä. 1672 – 1732) ging diesbezüglich am weitesten. 1718 legte er in der Akademie der Wissenschaften eine **Verwandtschaftstafel** mit 16 Spalten und 9 Zeilen vor. Er nannte sie „Table des differents rapports observés entre differentes substances“.¹³

TABLE DES DIFFERENTS RAPPORTS
observés entre differentes substances.

Mém. de l'Acad. 1718. Pl. 8. pag. 212.

↶	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	SM	⊕	♀	♁	♀	☾	♂	♁	⊕	⊕
⊕	♁	♂	♁	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	♀	☾	♁	♁	♁	♁	♁	♁
⊕	♁	♀	⊕	⊕	⊕	⊕	♂	☾	♀	PC	♀	♁	♁	♁	♁	♁
⊕	♀	♁	⊕	⊕	⊕	⊕	♀	♁								
SM	☾	♀	⊕		♁		♁	♀								
	♀	☾	♂		♁		☾	♁								
			♀				♁	♁								
			☾				♀									
	⊕						⊕									

↶ Esprits acides

⊕ Acide du sel marin.

⊕ Acide nitreux.

⊕ Acide vitriolique.

⊕ Sel alcali fixe.

⊕ Sel alcali volatil.

⊕ Terre absorbante.

SM Substances metalliques

♀ Mercure.

♁ Regule d'Antimoine.

⊕ Or.

☾ Argent.

♀ Cuivre.

♂ Fer.

♁ Plomb.

♁ Etain.

♁ Zine.

PC Pierre Calaminaire.

♁ Soufre mineral.

♁ Principe huileux ou Soufre Principe

♁ Esprit de vinaigre.

⊕ Eau.

⊕ Sel.

⊕ Esprit de vin et Esprits ardens

Isabelle Stengers konnte nachweisen, dass Geoffroy auch von Newton beeinflusst war, bringt doch der große Physiker (und Alchemist) in seiner „Optik“ von 1704 eine Reihung der Metalle nach deren Abscheidungen aus Lösungen in Salpetersäure im Sinne einer Zementation:

¹² Von nun an folge ich weitgehend I. Stengers, „Die doppelstimmige Affinität: Der Newtonsche Traum der Chemie im achtzehnten Jahrhundert“ in: M. Serres (Hgb.), Elemente einer Geschichte der Wissenschaften, Suhrkamp, Frankfurt/Main 1998, pp. 527 – 598.

¹³ Es ist zu vermuten, dass diese Anschreibung auf Johann Joachim Becher zurückgeht, von dem posthum 1689 im „Tripus hermeticus“ eine Tabelle wichtiger Mineralien, Metalle Salze, Erden, Öle etc ohne erkennbare Reihung mit 8 Spalten und 10 Zeilen im Druck erschienen war.

Auszug aus Newtons Optik: „Eine Eisenlösung in Scheidewasser löst den Galmei auf, den man hineintaucht, und setzt das Eisen frei; eine Kupferlösung löst das Eisen auf und setzt das Kupfer frei; eine Silberlösung löst das Kupfer auf und setzt Silber frei; gießt man eine Quecksilberlösung in Scheidewasser über Eisen, Kupfer, Zinn oder Blei, so wird dieses Metall aufgelöst, und das Quecksilber fällt aus.“

Geoffroys 3. Spalte lautet folgerichtig: Aquafort / Fe – Cu – Pb – Hg – Ag. Geoffroy hat uns allerdings das Zink (den Galmei) und das Zinn unterschlagen.

1731 fragte Fontenelle in seiner „Éloge“ auf Geoffroy, **ob sich nicht hinter den Affinitäten Kräfte verbergen**. Wenn man im frühen 18. Jahrhundert an Kräfte dachte, so waren dies selbstverständlich newtonsche Gravitationskräfte, die für Chemiker eine interessante Eigenschaft aufwiesen: Die Planeten werden von der Sonne angezogen, aber die Planeten ziehen auch die Sonne an. So ähnlich sollten sich auch chemische Körper verhalten. Sie ziehen einander gegenseitig an. (Vielleicht konnte auch nur ein Alchemist wie Newton das Gesetz der gegenseitigen Anziehung von Massen finden.)

ATTRACTIONS ELECTIVES SIMPLES. Pl. III.

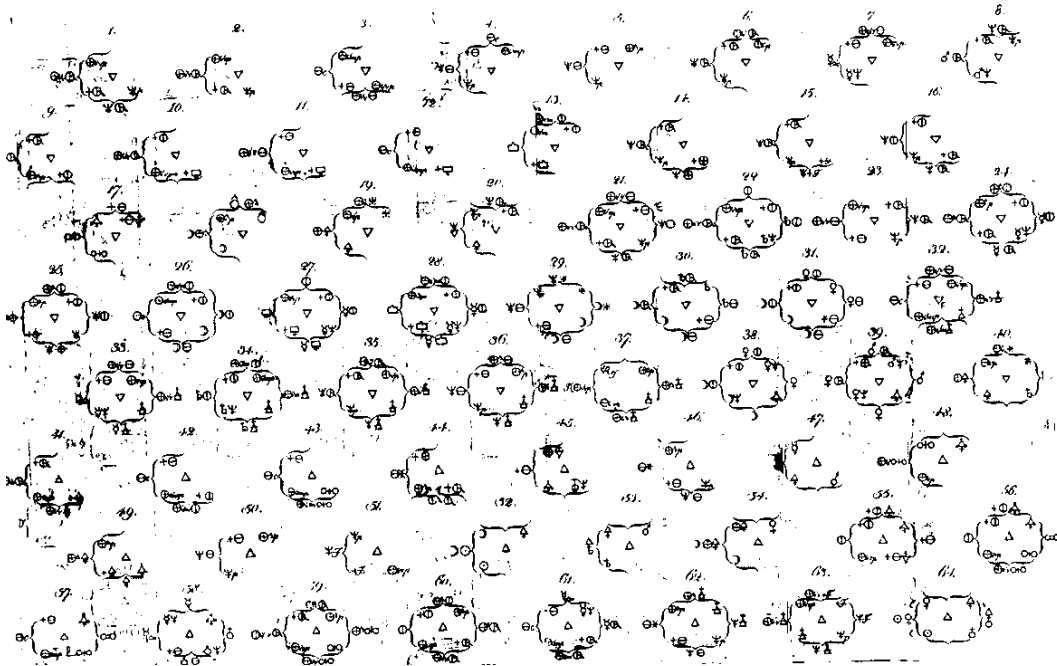
Par la voie Humide

Par la voie Seche

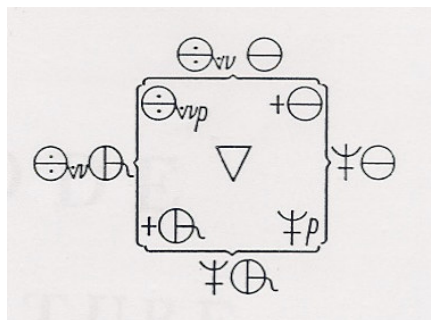
Damals keimte die Idee auf, die Chemie sei eine Wissenschaft der Kombinatorik. Alle chemischen Eigenschaften werden durch Kräfte (oder durch diese Kräfte ausgelöste Reaktionen) untereinander festgelegt. Die **Eigenschaften chemischer Körper sind strikt relational**. In diesem Sinn untersuchte der schwedische Chemiker und Mineraloge Tobern Olof Bergman (1735 – 1784) tausende chemische Reaktionen und fasste die Ergebnisse ab 1775 in 49 Spalten zusammen. Enthalten sind darin 27 Säuren, 8 Basen, 14 Metalle. Die Substanzen sind zweifach tabelliert, nämlich nach ihren Reaktionen in wässriger Lösung bzw. „unter der Gewalt des Feuers“. Der Historiker Maurice Dumas sagte über Bergman, dieser gehe

mit Eifer an die Arbeit, als gewissenhafter Handwerker, der die ungeheure Aufgabe, die sich vor ihm auftürmt, schrittweise abzutragen hofft. Anscheinend hatte er vor, sämtliche denkbaren chemischen Reaktionen

durchzuführen, ihre Ergebnisse zu vergleichen und so **die Körper im Verhältnis zueinander zu klassifizieren**. ... Übrigens scheint er mit den Ergebnissen nicht sehr zufrieden gewesen sein: Er schätzte, dass noch mehr als dreißigtausend exakte Experimente notwendig seien, um seiner Tabelle einen gewissen Grad an Vollkommenheit zu verleihen.



Bergman interessierte sich insbesondere für die Reaktionen von Salzen in wässriger Lösung. Er formulierte mit Hilfe der alten alchemistischen Symbole richtige qualitative Reaktionsgleichungen vieler doppelter Umsetzungen von Salzen. Bergman war der erste, der die duale Natur der Salze erkannte.¹⁴



¹⁴ Die Lektüre von Bergmans 1775 erschienenem Werk „De attractionibus electivis“ inspirierte Johann Wolfgang von Goethe (1749 – 1832) zu seinem berühmten Roman „Die Wahlverwandtschaften“ (1809). Goethe transferiert das chemische Reaktionsschema $AB + CD \rightarrow AD + CB$ in die Sphäre der menschlichen Beziehungen, und thematisiert so das Problem von Freiheit und Notwendigkeit. Er lässt seine Romanfiguren, Eduard, Charlotte, Ottilie und den Hauptmann, den chemischen Vorgang selber erörtern. Dabei kommt zur Sprache, dass die Vorstellung einer „Wahl“ für chemische Spezies viel zu antropomorph ist, „Naturnotwendigkeit“ wäre angepasster. Der Roman zeigt auf, dass die Menschen und die chemischen Elemente den gleichen Naturgesetzmäßigkeiten unterworfen sind. In beiden herrscht „nur Eine Natur“, wie Goethe selbst in der Vorankündigung des Romans schreibt. Im Unterschied zur Determiniertheit des chemischen Spezies hat zwar der Mensch die Möglichkeit, durch Entschagung seine geistige Freiheit zu behaupten. Dennoch ist der Konflikt zwischen sittlicher Ordnung und elementarer Leidenschaft unlösbar. Eine rätselhafte Übermacht des Dämonischen führt zur Katastrophe.

Einschub 1

Der relationale Zugang der Chemie läuft der aristotelischen Philosophie zuwider.

Nach Aristoteles haben die Dinge ihre Eigenschaften. Diese Eigenschaften sollten sich bei den Reaktionen zeigen. Aber bei Reaktionen mit unterschiedlichen Reaktionspartnern zeigten sich unterschiedliche Eigenschaften!

Georg Ernst Stahl, der Begründer der Phlogistontheorie, vertrat die aristotelische Ansicht, indem er von einem intrinsischen Vermögen der chemischen Körper ausging.

Nach Newton musste ein Forschungsprogramm alle möglichen Kombinationen durchspielen. Erst danach ist es möglich, ein allgemeines Gesetz zu finden.

Einschub 2

Warum gilt das Gravitationsgesetz nicht in der Chemie? Diese Frage beantwortete der 1711 in Ragusa (Dubrovnik) geborene Jesuit Ruder Josip Bošković 1759 in seiner „Philosophiae naturalis theoria“ mit dem Hinweis, dass die newtonsche Formel $1/r^2$ nur für große Distanzen zur Anwendung kommen kann. **Die chemischen Spezies sind nach Bošković komplexe Gefüge. Sie sind die Resultanten verschiedener Kräfte.** (Bošković dachte seine Atome als punktförmige, mit Trägheit und mit anziehenden sowie abstoßenden Kräften ausgestattete Kraftzentren. Der kroatische Gelehrte schrieb große Teile seiner Theorie der Naturwissenschaft in Wien, wo er sich 1756 bis 1760 und 1773 aufhielt. Josip Bošković starb 1787 in Mailand. Am Gebäude der Alten Universität auf dem alten Universitätsplatz in Wien erinnert an ihn eine Gedenktafel.)

Eine logisch äquivalente Hypothese zur Frage der Nichtgültigkeit newtonscher Kräfte in der Chemie vertrat der Privatgelehrte Georg Louis Leclerc Graf von Buffon (*1707 bei Dijon, †1788 in Paris), Mitglied der Académie des sciences. Buffon kam in seiner „Histoire naturelle“ von 1765 zum Schluss, dass die Nähe der chemischen Körper deren Formen wirksam werden lasse. (Bei den Planeten ist die Form ihrer Oberfläche wegen der großen Entfernungen gleichgültig.) Nach Buffon würden die „Großneffen“ imstande sein, die chemischen Reaktionen zu berechnen. Man werde – so Buffon – die Affinitäten deduzieren und die Reaktionsmöglichkeiten vorhersagen können. (Buffon war auch auf einem anderen Gebiet ein Pionier. Er schätzte das Alter der Erde mit 75 000 Jahren ein.)

Zurück zur Affinitätstabelle Bergmans. Im Zuge der Erforschung der Natur der Kräfte hinter der Affinität gelang dem französischen Chemiker Louis Bernard Guyton de Morveau (1737 – 1816) um 1780 ein nächster entscheidender Schritt. Guyton de Morveau maß die Kräfte, die erforderlich sind, um zwei in Quecksilber schwimmende Metallplatten zu trennen. Er stellte fest, dass die Kräfte dieselbe Reihenfolge einhalten wie die chemischen Affinitäten.

Den großen Wurf bei der Klärung der Frage der chemischen Affinität verdanken wir dem Arzt und Chemiker Gabriel-François Venel. Venel war ein Schüler Hilaire Rouelles, jenes Rouelle, der die Phlogistonlehre Stahls in Frankreich eingeführt hatte. Venel befasste sich intensiv mit der Affinitätstafel. Er war es, der die Luft als Anführerin einer Spalte der Tafel reklamierte.

Bei seinen theoretischen Überlegungen gelang es Venel, die relationalen und nichtrelationalen Aspekte der Chemie zu versöhnen. Nach Venel unterhalten die Bestandteile einer chemischen Aggregation „Nachbarschaftsbeziehungen“, wobei er (im heutigen Sinne formuliert) unveränderliche Atome von veränderlichen Molekülen differenziert: Jede Veränderung muss

auf eine Veränderung der räumlichen Anordnung der Korpuskel - der Abstoßung oder der Annäherung – zurückgeführt werden, ohne dass die Teile selber eine innere Veränderung erführen. Was macht also das Gold zum Gold, fragt sich Venel. Es sind innere Qualitäten, die das Eigentümliche des Körpers spezifizieren. Diese bewirken, dass Wasser, Gold, Salpeter etc. eben Wasser Gold und Salpeter sind. **Das eigentliche Objekt der Chemie sind die gegenseitigen Wirkungen der Korpuskel aufeinander. Diese hängen von den inneren Qualitäten der Teilchen ab.** Venel betont, dass die Affinität, die die mixtive Einheit der Aggregate bewirkt, nichts mit einer Gravitationsanziehung zu tun hat. Er sagt aber im gleichen Atemzug, dass auch Stahls „Prinzipien“ keine adäquate Antwort auf diese Frage darstellen. Die Chemiker müssen kühn genug sein, ihr diesbezügliches Unwissen zu bekennen.

Nach Venel, der den Artikel „Chymie“ in Diderots Encyclopédie (1751/1772) schrieb, **ist die Chemie eine Passion, eine verrückte Leidenschaft.** Die Chemie verlangt eine Lehrzeit, die eine Ausbildung der Sinne, des Körpers und des Geistes beinhalten muss. Chemie bedeutet einerseits eine Vielzahl von Apparaturen, Instrumenten und Produkten, andererseits isolierte, schwer reproduzierbare Phänomene. Niemals, meint Venel, wird die Kraft einer deduktiven Theorie so weit reichen, dass sich die Chemie all dessen entledigen wird können, was sie innerlich mit einer langen, mühsamen verzwickten und geduldigen Praxis verbindet. Diese Schwierigkeiten der Chemie sollten dazu führen, dass demjenigen, der sie betreibt, Respekt gezollt wird, bringt die Chemie doch diesen um seine Gesundheit, sein Glück, seine Zeit und sein Leben!

Die längste Zeit hindurch ist die Affinität sowohl als die die Teilchen verbindende Kraft, als auch die Richtung, in der eine Reaktion läuft, verstanden worden. Schon 1779 schilderte der französische Chemiker Claude Louis Berthollet (1748 – 1822) in einem Vortrag mit dem Titel „Recherches sur le lois d’affinité“ den Einfluss der Masse der reagierenden Stoffe bei chemischen Umsetzungen. Berthollet wies auf eine „**Wirkungssphäre**“ hin, in der die chemische Reaktion stattfindet. 1798 begeisterte Berthollet Napoleon I. auf seinem Feldzug durch Ägypten. Sodafällungen am Ufer ägyptischen Salzseen konnte Berthollet nur so erklären, dass chemische Reaktionen unter Umständen sogar „gegen die Affinität“ laufen können und somit umkehrbar sind. Berthollets Schlussfolgerung: **Die Zusammensetzung eines Körpers hängt von der Geschichte des Körpers und anderen Faktoren ab, welche die Umgebung der Reaktion charakterisieren.** Die Affinität im Sinne eines Reaktionsverlaufes hängt vom physikalischen Zustand des Systems ab. Die Reaktionsprodukte setzen sich nicht nach konstanten Proportionen zusammen.

Berthollets Gegenspieler war der Chemiker Joseph Luis Proust (1754 – 1826). Proust folgte der Formulierung Stahls vom *pondus naturae* und den Ideen Richters. (Benjamin Richter hat 1789 in Königsberg mit einer Dissertation über den Gebrauch der Mathematik in der Chemie promoviert. Dabei ist ein Einfluss des berühmtesten Königsbergers, Immanuel Kant, spürbar, legte doch Kant 1786 in seinem Werk „Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft“ dar, dass in jeder Naturlehre nur soviel Wissenschaft stecke, wie Mathematik darinnen sei. Richters Leitspruch war: Gott hat alles nach Maß, Zahl und Gewicht geordnet. Auf Richter geht die **Entdeckung der Äquivalentgewichte** bei Neutralisationsreaktionen zurück.) Proust wies nach vielen Experimenten mit unterschiedlichen Quecksilbererzen, dass die Zusammensetzung von Substanzen von der Herkunft der Ausgangsmaterialien unabhängig ist.

Die Kontroverse Berthollet – Proust endete 1807 zunächst sehr unbefriedigend, nämlich ohne endgültiges Ergebnis. Erst 1832 konnten Thénard und Gay-Lussac die Situation klären: Jede Reaktion setzt den Ausgangsstoff in bestimmten Proportionen um und hat ein Gemisch von

Ausgangsstoffen und Reaktionsprodukten zum Ergebnis. Es gilt das Gemisch aufzutrennen. Seither muss der Begriff der Affinität in zwei unterschiedliche Begriffe aufgespalten diskutiert werden: **1. die Stärke der Bindung** und **2. der Reaktionsverlauf im Sinne des chemischen Gleichgewichts**. Auf die Art der Bindung ist keine Einflussnahme möglich, sehr wohl aber auf den Reaktionsverlauf.

Diese Erkenntnis, dass der Reaktionsablauf durch die Wahl unterschiedlicher Bedingungen (z.B. Druck, Temperatur, Konzentrationen) gesteuert werden kann, war Voraussetzung für das Funktionieren einer chemischen Industrie. Cato Maximilian Guldberg (1836 – 1902) und sein Schwager Peter Waage (1833 – 1900) publizierten 1864 in norwegischer und 1867 in französischer Sprache das allgemeine **Massenwirkungsgesetz** zur Beschreibung des chemischen Gleichgewichts. Sie führten den Begriff der „aktiven Masse“ ein, worunter sie eine Masse in einer bestimmten „Wirkungssphäre“ verstanden, Diese Wirkungssphäre – der Gedanke geht auf Berthollet zurück – setzten sie dem Volumen gleich, führten also damit die Volumenkonzentration ein. Ganz im Gegensatz übrigens zum französischen Chemiker und Chemiehistoriker Marcelin Berthelot (1827 – 1907), der 1862 bei der Untersuchung der Veresterung von Essigsäure mit Ethanol eine simple Massenwirkung konstatierte. Das Gesetz von Guldberg und Waage sollte demnach gar nicht Massenwirkungs- (MWG), sondern Konzentrationswirkungsgesetz (KWG) heißen! Die physikalischen Grundlagen des Massenwirkungsgesetzes wurden um 1884 durch J. H. Van't Hoff mit seinem Buch „Études de Dynamique Chimique“ geschaffen: die Thermodynamik. Seit Helmholtz (1882) und Van't Hoff verstehen wir heute unter der „Affinität“ den negativen Wert der freien Reaktionsenthalpie ΔG .¹⁵

Ungeklärt war aber - nach wie vor - die **Natur der Bindungskräfte** chemischer Spezies. Um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert erhielten die Chemiker ein neues wirksames Werkzeug, den elektrischen Strom. 1792 hatte Alessandro Volta (1745 – 1827) in Pavia das Auftreten einer Spannung beim Kontakt zweier Metalle feststellen können. 1798 bemerkte der Jenaer Privatgelehrte Johann Wilhelm Ritter (1776 – 1810), **dass die Voltasche Spannungsreihe mit der Verwandtschaftsreihe der Metalle zum Sauerstoff und deren Fällbarkeit aus Lösungen übereinstimmt**. Ritter gilt als Begründer der Elektrochemie und man kann sagen, dass die Spannungsreihe in ihrer quantifizierten Form die Tabelle der Redox-Normalpotentiale die modernen Varianten der alten Affinitätstafel darstellen. Durch Ritters Entdeckung bestand die Möglichkeit einer elektrischen Interpretation der chemischen Affinität. Dieser grundsätzlich gangbare Weg konnte allerdings erst nach der Konsolidierungsphase der atomistischen Sicht beschrritten werden.

¹⁵ Je größer die Affinität, desto negativer wird die freie Energie, d.h. desto größer wird die Unordnung – entweder über den ΔH -Term oder den $-T\Delta S$ -Term. Im ersten Fall wird die Unordnung in der Umgebung größer, im zweiten die im System. Bei bestimmten Explosionen nimmt die Unordnung über beide Terme zu. **Die heutige Affinität ist demnach ein Maß, wie weit eine Reaktion in Richtung Unordnung voranschreitet**. Worüber man sich oft nicht genügend wundern kann, ist der hohe Ordnungszustand der Ausgangssituation. Vielfach stellt die heiße Sonne im Gegensatz zur Kälte des Raumes (3-Kelvin-Hintergrundstrahlung) mit dem ständigen Photonenstrom die eigentliche Quelle vieler chemischer Reaktionen dar. Mehr darüber im Kapitel über die Thermodynamik.

Auf der Suche nach dem alles umfassenden Bauplan

Die Geschichte der Atomtheorie - die Geschichte der Annäherung von Chemie und Physik

*Nam tibi de summa caeli ratione deumque
dissere incipiam et rerum primordia pandam,
unde omnis natura creet res, auctet alatque
quove eadem rursum natura peremta resolvat,
quae nos materiem et genitalia corpora rebus
reddunda in ratione vocare et semina rerum
appellare suemus et haec eadem usurpare
corpora prima, quod ex illis sunt omnia primis.*

Denn über den letzten Grund des Himmels und der Götter will ich für dich zu sprechen beginnen, will dir zeigen der Dinge Ursprungskörperchen, aus denen die Natur alles erschafft, vermehrt und nährt, in die zugleich sie dann auch wieder alles vernichtet und auflöst; wir sind gewohnt, sie - nach der Lehre Beweis - Urmaterie zu heißen und Samen der Dinge auch zu nennen und eben diese zugleich zu bezeichnen als die ersten Körper, weil alles aus jenen zuerst ist.

Mit diesen Versen beginnt der römische Dichter Titus Lucretius (ca. 98 v. Chr. – 55 v. Chr.) nach einem Proömium das erste Buch seines über siebentausend Hexameter umfassenden Lehrgedichtes „De rerum natura“. Lukrez versucht nichts weniger, als in einem gigantischen Gemälde aus Versen die Gesamtheit des Universums und des darin zur Entfaltung und zum Ende kommenden menschlichen Lebens aus der Existenz von Primordalkörperchen (ersten Teilchen, Atomen) und der sie umgebenden Leere darzustellen.

Rekapitulieren wir, seit wann überhaupt von Atomen gesprochen wird. Simplicius befasst sich in seinem Kommentar zu Aristoteles mit der Geschichte der Atomtheorie. Zu Leukippos, der etwa um 450 v. Chr. gewirkt hat, sagt Simplicius, dieser wäre ein Schüler des Parmenides gewesen, der in der Frage nach dem Seienden nicht denselben Weg gegangen ist, wie Parmenides oder Xenophanes, sondern den entgegengesetzten. (Dazu ist zu bemerken, dass Parmenides von einem kugelförmigen ewigen Sphairos ausgegangen ist, in dem die Grundkräfte zunächst im Gleichgewicht seien, danach aber in einem Wechselspiel von vier gottähnlichen Elementen die Dinge hervorbrächten. Xenophanes sprach in ähnlicher Weise vom einen, ewigen All.) Weiter heißt es bei Simplicius, „*denn während jene das All als eins, unbeweglich und unentstanden sowie begrenzt annahmen und über das Nichtseiende nicht einmal nachzudenken erlaubten, nahm Leukippos unendlich viele und in ewiger Bewegung begriffene Elemente an, die Atome nämlich..., weil er sah, dass Entstehung und Veränderung in den Dingen ohne Aufhören sei.*“

Es ist wichtig zu begreifen, dass die Atomtheorie nicht einfach da war, sondern sich in einem historischen Kontext entwickelte, zum Teil ist sie vielleicht sogar als das Ergebnis einer Art Konkurrenz in einem Lehrer-Schüler-Verhältniss zu bezeichnen. Leukipp lehnt ja gar nicht alle Ansichten seines Lehrers Empedokles ab, im Gegenteil. Aristoteles ist bereits aufgefallen, dass Leukippos beeinflusst war von der **Porentheorie** des Empedokles von Agrigent. Alle Körper sind - nach Empedokles - von feinen, unsichtbaren Durchgängen durchzogen. Eine Einwirkung eines Stoffes auf einen anderen ist nur möglich bei einer Symmetrie der „Ausflüsse“ des einen Stoffes mit den Poren des zweiten. Empedokles konnte mit dieser Porentheorie recht anschaulich die Mischbarkeit von Flüssigkeiten erklären. Offensichtlich

fragte sich Leukippos, wie denn nun die Ausflüsse des ersten Stoffen beschaffen sein müssen, damit sie in die Poren des anderen passen. Möglicherweise, was dies der Ausgangspunkt der Atomtheorie.

Leukippos hatte einen Schüler, der seinen Lehrer an Bedeutung übertreffen sollte: Democritus von Abdera (ca. 460 – 370 v. Chr.). Der weitgereiste griechische Schriftsteller Plutarch berichtet über Demokrit und seine Lehre:

Denn was behauptet Demokrit? Dass sich unzählige unteilbare und indifferente Substanzen, die qualitätslos und unveränderlich seien, zerstreut im leeren Raume bewegten. Wenn sie sich aber einander näherten, zusammenträfen oder miteinander verflöchten, dann käme in dem einen Fall Wasser, in dem anderen Feuer, ein andermal eine Pflanze, ein weiteres Mal ein Mensch zustande. Es seien aber alles Atome... Denn eine Entstehung aus dem Nichtseienden gebe es nicht. (Plutarch „Gegen Koletes“ 68 A 57)

Nach Alexander von Aprodiasias verstand Demokrit unter einer **Mischung von Stoffen eigentlich eine Aneinanderlagerung kleiner Teilchen**. Nach Demokrit – so Alexander – wäre „die scheinbare Mischung nur eine Nebeneinanderlagerung von kleinen Teilchen von Stoffen, von denen jeder seine eigene Natur bewahre, die er auch vor der Mischung hatte. Die Stoffe schienen aber deshalb miteinander vermischt zu sein, weil unsere Sinne infolge der Kleinheit der nebeneinandergelagerten Teilchen keinen dieser für sich allein wahrnehmen könnten.“

Der römische Arzt **Galen** bringt in seiner Schrift „Von den Elementen nach Hippokrates“ womöglich ein authentisches Zitat des Demokrit, wenn er schreibt:

„Nur scheinbar hat ein Ding eine Farbe, nur scheinbar ist es süß oder bitter; in Wirklichkeit gibt es nur Atome und den leeren Raum.“ So sagt Demokrit, der meint, dass aus dem Zusammentreffen der Atome sämtliche durch unsere Sinne wahrnehmbare Eigenschaften der Dinge entstünden, d.h. nur für uns Menschen ...; in Wirklichkeit aber sei kein Ding weiß oder schwarz oder gelb oder rot oder bitter oder süß...

Für Demokrit stellte sich als Folge seiner Atomtheorie das **Erkenntnisproblem** in aller Schärfe: „Der Mensch muss nach diesem Maßstab erkennen, dass er von der Erkenntnis der Wirklichkeit weit entfernt ist.“ (Fragment 6) Prophetisch sind folgende Worte: „Und doch wird klar werden, dass ein Problem bleibt, zu erkennen, wie jedes Ding in Wirklichkeit beschaffen ist.“ (Fragment 8)

Eine geniale Erweiterung des atomistischen Ansatzes ist **Platon** (427 – 347 v. Chr.) zu verdanken. Platon entmaterialisiert die Atome. Seine Theorie, die er im Timaiosdialog entfaltet, ist stark geprägt von der pythagoräischen Mathematisierung: Es gibt fünf vollkommen regelmäßige Polyeder und vier Elemente. Kleinste würfelförmige Körperchen ordnet Platon den Erdkorpuskeln zu, Feuerkörperchen sind tetraedrisch, Luftteilchen oktaedrisch, Wasserteilchen ikosaedrisch. Der Pentagondodekaeder aber, die fünfte Zusammenfügung, steht für das Weltganze, die *quinta essentia*. Weiter können die Teilchen körperlich nicht mehr geteilt werden - geometrisch aber schon: Alle genannten Polyeder haben Flächen, zu deren Konstruktion nur zwei unterschiedliche Dreiecke notwendig sind, ein gleichschenkeliges und ein gleichseitiges Dreieck. Hinter aller Materie vermutet Plato – mit Recht wie wir heute wissen – die **Symmetrie**.

Es stimmt nicht, was vielfach behauptet wurde, dass die Lehre von den Atomen im Mittelalter in Vergessenheit geraten wäre. Wir finden die **Korpuskulartheorie** unter anderem bei Isidor von Sevilla (um 560 – 633), bei Adelard von Bath (um 1077 – nach 1146), Wilhelm von Conches (um 1080 – 1154) sowie Hugo von St. Victor († 1141) in der nordfranzösischen Schule. Desgleichen bei den Ärzten von Salerno wie Alphanus (1015 - 1085) und Urso (2.

Hälfte 12. Jh.).¹⁶ Alphanus von Salerno bemühte sich, eine Korpuskulartheorie der Materie als Grundlage der Medizin bereitzustellen. Insbesondere Süditalien scheint ein Zentrum der Korpuskulartheorie gewesen zu sein. Ein großer Förderer der Wissenschaften war Kaiser Friedrich II. (1194 – 1250). Friedrich stand mit arabischen Gelehrten in Verbindung. An seinem Hof schrieb Michael Scotus (1175 – 1235) alchemistische Traktate.

Der Autor des bedeutenden, breit angelegten alchemistischen Werkes „Summa perfectionis magisterii“ *Geber latinus* bezieht die Korpuskulartheorie wie selbstverständlich in seine Argumentation ein. Wir nehmen heute eine Identität des Autors mit einem gewissen Paulus de Tarent an, einem Fransiskaner, der wohl aus der süditalienische Stadt Tarent stammt und der im 13. Jahrhundert in Assisi tätig war. Die in der *Summa* vorgetragene Atomtheorie geht jedenfalls (nach Haage) auf den Text „Peri physeos anthropou“ des Nemesios von Emesia aus dem 5. Jahrhundert zurück, den Alphanus von Salerno ins Lateinische übersetzt hat. Eine weitere Quelle der *Summa*: die in Salerno in der 2. Hälfte des 12. Jahrhunderts durch Urso de Salerno niedergeschriebenen Texte „De effectibus qualitatum“ und „De effectibus medicinarum“. Ein weiterer Hinweis auf Verbindungen des Autors der *Summa* zu Salerno sind bestimmte Ausdrücke, die in Salerno verwendet wurden, wie z.B. *agresta* für scharfe, saure Stoffe.

Geber latinus nennt die Korpuskeln *partes*, Teilchen. Er beschreibt die Kalzination folgendermaßen: „Die Kalzination eines Dinges durch Feuer ist dessen Verwandlung in Staub wegen des Entzugs der Feuchtigkeit, die seine *partes* zusammenhält.“ (Der um 865 in Persien geborene und 925 in Raiy gestorbene Gelehrte ar-Razi trug bereits in seinem „Liber secretorum de voce Bubacaris“ eine ähnliche Theorie des Zusammenhalts von Teilchen durch die Feuchtigkeit vor.) Geht es um die Vollkommenheit eines Metalls, sagt *Geber latinus*, so ist eine möglichst große Dichte möglichst kleiner Partikel anzustreben. Dies ist die Aufgabe, wenn eine Transmutation ansteht. Die Theorie des *Geber latinus* erinnert passagenweise auch an die Korpuskulartheorie der medizinischen Schule des Asklepiades aus Prusa (1. Jh. v. Chr.) Danach ist der Körper des Menschen zusammengesetzt aus untereinander verbundenen Korpuskeln. Dazwischen gibt es Poren, die von der Größe und Gestalt der Korpuskeln abhängen. Die Korpuskulartheorie des Asklepiades war in den Klosterbibliotheken - zum Unterschied zur Atomistik Demokrits - präsent, wurde doch die Lektüre des Caelius Aurelianus, der im 5. Jahrhundert lebte und der in seinen Texten eine Beschreibung der Korpuskulartheorie des Asklepiades bietet, ausdrücklich empfohlen.

Die Renaissancezeit ist gekennzeichnet durch das Interesse an Texten der antiken Schriftsteller. In der Bibliothek der Universität Neapel im Kloster San Domenico Maggiore studierte um 1572 ein gewisser **Giordano Bruno** (geboren in Nola 1548). Las dieser Bruno damals schon Schriften der Pythagoräer, in denen von der ersten Eins, der Monade die Rede ist, aus der alle anderen Monaden durch Teilung entstehen? Das letzte 1591 von Giordano fertiggestellte Werk handelt „De monade numero et figura“ (Von der Monade, der Zahl und der Gestalt). Brunos **Monadenlehre**¹⁷, in der er von der ersten Eins, der Einheit der Materie, dem *minimum*, spricht, beeinflusste den berühmten Philosophen Gottfried Wilhelm Leibniz. Es ist zu vermuten, dass sich die Monadenlehre und die Lehre von den Atomen wechselseitig beeinflussten. Giordano Bruno wurde im Februar 1600 am *Campo dei Fiori* in Rom als Ketzer verbrannt.

¹⁶ Vergl. B. D. Haage, *Alchemie im Mittelalter*, Artemis & Winkler, Zürich 1996, p. 142ff.

¹⁷ Eine interessante Monadenlehre findet man im zweitenden alchemistischen Traktat des Stephanos von Alexandria im 7. Jahrhundert. Die Betrachtungen über die Monade sollen in diesem Text die Konzentration des Adepten in der Meditation unterstützen.

Ein Zeitgenosse Brunos war der Astronom **Johannes Kepler** (1571 – 1630). Kepler hatte sowohl in der Lateinschule in Leonberg als auch an der Universität in Tübingen eine ausgezeichnete humanistisch Bildung genossen und insbesondere auch die Briefe Epikus studiert. Im Brief an Herodot hat Epikur (341 – 271 v. Chr.) seine eigenwillige, höchst interessante Lehre von den Atomen zusammengefasst:¹⁸

43. Es bewegen sich die Atome stetig die Ewigkeit hindurch... Die einen bewegen sich weit voneinander entfernt, die anderen in einer Vibration, wenn es sich trifft, dass sie in einer Verflechtung zusammengeschlossen sind oder bedeckt werden von denen, die zu verflechten imstande sind. **44.** Denn die Eigengesetzlichkeit des Leeren, die jedes einzelne Atom für sich abgrenzt, bringt dies zustande, weil sie nicht fähig ist, einen Stützhalt herzustellen. Die den Atomen eigene Härte bewirkt beim Zusammenstoß den Rückprall, soweit die Verflechtung jeweils die Rückkehr aus dem Zusammenstoß in die frühere Position erlaubt. Einen Ursprung dieser Vorgänge gibt es nicht: Ursachen sind die Atome und das Leere.

Im Folgenden spricht Epikur von der Position und der Anordnung der Atome in Festkörpern. Genau hier hakt Kepler ein, wenn er im November oder Dezember 1610 nach der Beobachtung von Schneekristallen auf seinem Mantel beim Überschreiten der Prager Karlsbücke über das Zustandekommen der immer gleichen sechseckigen Form von Schneekristallen nachdenkt. In seinem 1611 als Neujahrs Geschenk an einen Gönner gedruckten Büchlein „Strena sive de Nive Sexangula“,¹⁹ wirft Kepler in Anspielung an die die Atome umgebende Leere (das Nichts: Nix [umgangssprachlich] – nix [lat.] Schnee) die Frage nach dem Grund der Hexagonalität der Schneekristalle auf. Kepler geht in der Behandlung des Themas von Epikurs Atomen aus und beschreibt als erster **das aus Atomen aufgebaute kubische Gitter und die kubisch dichteste Kugelpackung**. Damit ist er seiner Zeit weit voraus, denn eigentlich gilt ja René Juste Haüy (1743 – 1822) als Begründer der Kristallgittertheorie. Die experimentelle Bestätigung des atomaren Gitteraufbaus bestimmter Kristalle gelang erst Max Laue 1911 mit Hilfe der von ihm entdeckten Beugungseffekte an Röntgenstrahlen.

Was wollten Epikur, Lukrez, Paulus de Tarent oder Kepler? Alle Genannten wollten eine konsistente Sicht aller zu ihrer Zeit bekannten physikalischen Phänomene vermitteln. Die Atomtheorie wurde in der gesamten Geschichte der Physik und Chemie immer dann ins Spiel gebracht, wenn es um eine einheitliche Beschreibung ging.

Mit einer Bemerkung Keplers ganz am Ende des genannten Werkes über die Schneekristalle thematisiert der berühmte Mathematiker und Astronom die auftretenden geometrischen Formen weiterer Kristalle. An Bergkristallen sind Kepler - so wie beim Schnee - hexagonale Formen aufgefallen, Diamanten zeigen gelegentlich oktaedrische Tracht, ein in Dresden zu sehendes Silbererz kommt als Dodekaeder vor, an Vitriole und Salpeterkristalle findet man meist kubisch-rhombische Figuren. Die Beantwortung der Frage nach dem Grund der unterschiedlicher Kristallformen möchte Kepler dem Chemiker überlassen. Es genügt ihm „an das Tor der Chemie geklopft“ zu haben. Womit wir bei der für die Wissenschaftsgeschichte brisanten Frage des Verhältnisses von Chemie und Physik bezüglich der Atomhypothese angelangt sind. Lange genug galt es in Physikerkreisen als geradezu anstößig von Atomen zu sprechen.

Im 17. Jahrhundert waren es Alchemisten und Paracelsisten, die an die Existenz von Atomen glaubten. Der 1572 in Breslau geborene Arzt und Chemiker Daniel Sennert trug zur Wiederbelebung atomistischer Vorstellungen in der Chemie bei, indem er alle Metalle, Pflanzen und

¹⁸ Nach Epikur gibt es in der Bewegung der Atome eine gewisse, nicht vorhersagbare, akausale Unbestimmtheit. Epikur, Briefe · Sprüche · Werkfragmente, übersetzt und herausgeg. v. H.-W. Krautz, Reclam, Stuttgart 1985.

¹⁹ D. Goetz, Vom sechseckigen Schnee. Strena seu de Nive sexangula – von Johannes Kepler, Akadem. Verlagsges. (Ostwalds Klassiker der exakten Naturwissenschaft Bd. 273), Leipzig 1987.

Tiere aus kleinsten unteilbaren Korpuskeln (*minima naturalia*) aufgebaut betrachtete. In einer Mixtur behalten nach Sennert die Minimalpartikel ihre spezifische Eigenart bei. Die Partikel bilden kleine Zusammenballungen, „primäre Konkretionen“. Sennert, der die iatrochemische Lehre des Paracelsus vertrat, beeinflusste Joachim Jungius (1587 – 1657) und Robert Boyle. Sennert starb 1637 in Wittenberg an der Pest.

Eine wesentliche Voraussetzung des Erfolges der Atomhypothese war die **Erforschung des Vakuums**. Hier sei an den gelehrten Kapuziner Valerian Magni (1586 – 1661) erinnert. 1647 gelang Magni auf der Warschauer Burg als einem der ersten die Existenz eines luftleeren Raumes zu beweisen. Er veröffentlichte die Ergebnisse seiner Experimente in seiner im gleichen Jahr veröffentlichten „Demonstratio ocularis sine locato“. Magni vertrat unter dem Einfluss von William Gilbert einen dynamischen Atomismus. Magni glaubte an einen „Geist der Erdkugel“; dieser solle die Atome der drei Elemente Erde, Wasser und Luft erschaffen. Magni hielt sich 1648 in Wien auf. Am 1. Februar 1661 wurde er in Wien auf Befehl des Papstes Alexander VII. verhaftet und nach Salzburg gebracht. Magni starb am 29. Juli 1661 im Salzburger Kapuzinerkloster, wo er auch begraben wurde.²⁰

Robert Boyle (1627 – 1691) benutzte zunächst bei seinem Vakuumexperimente eine Guericke-Pumpe, war aber damit nicht zufrieden. Sein Assistent Robert Hooke entwarf daraufhin 1659 eine bessere, die 1662 optimiert wurde. Boyle wurde für seine Vakuumexperimente so bekannt, dass man in England lange Zeit von *Vacuum Boyleianum* sprach. Auf der anderen Seite sprach Boyle von kleinsten unteilbaren Teilchen, die sich zu Atomgruppen, zu *clusters*, zusammenfinden können.

Der aus dem kroatischen Dubrovnik stammende gelehrte Jesuit Ruder Josip Bošković (1711 – 1787) darf als der eigentliche Begründer einer differenzierten Einsicht in den Bau und die Funktion der Atome gelten.²¹ Während seines ersten Aufenthalts in Wien (1756 – 1760) entstand sein bedeutendstes Werk: „Philosophiae naturalis theoria“ (Wien 1758/59). Bošković führte den Begriff der punktförmigen Masse ein. Die **Atome sind nach Bošković mathematische Punkte, von denen abstoßende oder anziehend Kräfte ausgehen**. Bei genügender Annäherung geht der Betrag der abstoßenden Kräfte gegen unendlich. Bindung zwischen Atomen (d.h. chemische Bindung in unserem Sinne) bedeutet die Ausbildung eines komplizierten Kraftmusters. Bei Kristallen wird dieses Muster erkennbar.

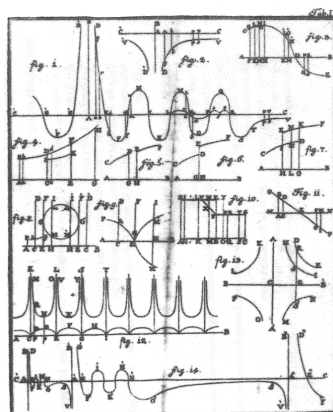


Abb. 1. Abbildung aus „Philosophiae naturalis theoria“ 1758.

Boškovićs Theorie der Wechselwirkung der Atome beeinflusste maßgeblich den englischen Chemiker und Physiker Michael Faraday (1791 – 1867), der bekanntlich 1813 als Labora-

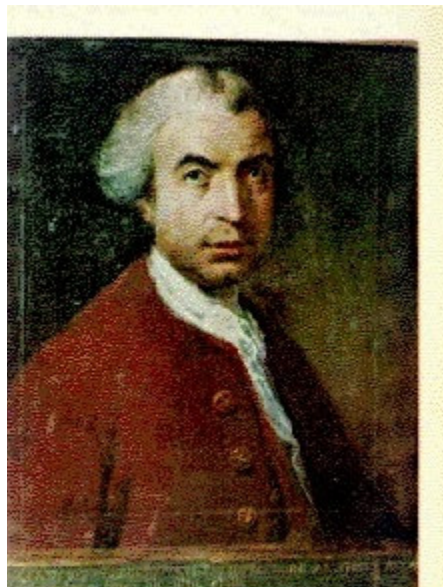
²⁰ J. Cygan, „Valerian Magni – Lebensdaten, Werke, Sendung“, Monumenta Guericiana **18**, 1992, pp. 30 – 38.

²¹ K. Simony, Kulturgeschichte der Physik, 2. Aufl. Verl. H. Deutsch, Thun, Frankfurt/Main 1995, p. 306.

toriumsgehilfe Davys an die Royal Institution gekommen war. Bei seiner Untersuchungen zur Natur der Elektrizität interessierte sich Faraday schon früh für die Boškovićtheorie. Die Einführung der **Kraftlinien** ist wohl durch Bošković inspiriert. In einem 1844 gehaltenen Vortrag in der Royal Institution sagte Faraday:²²

Mir ist nicht unbekannt, daß der Verstand am stärksten von den Phänomenen der Kristallisation, der Chemie und Physik allgemein zur Anerkennung von Kraftzentren gedrängt wird. Ich fühle mich genötigt, diese, vorläufig hypothetisch, zuzulassen, und kann ohne sie nicht auskommen, aber ich habe große Schwierigkeiten mit der Konzeption von Atomen, die in Festkörpern, Flüssigkeiten und Dämpfen als mehr oder minder getrennt voneinander angenommen werden ... Wenn wir überhaupt Annahmen machen müssen, wie wir in der Tat in einem Wissenszweig wie dem gegenwärtigen kaum umhin können, dann scheint mir der sicherste Weg, so wenig wie möglich anzunehmen, und in dieser Hinsicht erscheinen mir die Atome von Boscovich einen großen Vorteil gegenüber der verbreiteten Vorstellung zu haben. Seine Atome sind, wenn ich richtig verstehe, bloße Zentren von Kräften und Vermögen, nicht Materieteilchen...

Bošković und Faraday gaben einem Kompromiss zwischen einer reinen Kontinuumsvorstellung und einer diskontinuierlichen Sicht des Aufbaus der Materie den Vorzug. Zu gleichen Zeit repräsentierten Daltons Atome zweifellos die rein diskontinuierliche Betrachtungsweise.



Am 21. Oktober 1803 sprach John Dalton (1766 – 1844) in der Literarischen und Philosophischen Gesellschaft in London vor nur sieben Zuhörern über Absorptionsversuche von Gasen in Flüssigkeiten. Er erklärte das Verhalten der Gase atomistisch. Die Atome, meinte Dalton, seien kugelförmig und von einer Wärmehülle umgeben. Sie sind unveränderlich. **Chemische Operationen gehen nur bis zum Trennen von oder zum Vereinen von mehreren Atomen.** Jede Verbindung besteht aus einer bestimmten Anzahl von Atomen und kann sich - Richter scheint Dalton beeinflusst zu haben - im Verhältnis ganzer Zahlen (1:1, 1:2, 2:3...) bilden. 1805 veröffentlichte Dalton seine Atomhypothese und die ersten Atomgewichtstabellen.²³ 1808 publizierte er sein Werk „A new System of chemical Philosophy“.

²² Nach L. P. Williams, „Michael Faraday (1791 – 1867)“, in: K v. MEYENN, Die großen Physiker Bd 1, C.H. Beck, München 1997, pp. 371 – 283.

²³ W. Ostwald, Dalton, in: W. Bugge (Hsgb.) Das Buch der großen Chemiker Bd.1, Verl. Chemie, Weinheim 1974, pp. 378 – 285.

1807 gelang es Humphry Davy (1778 – 1829) mit Hilfe einer Voltaschen Säule, aus Schmelzen von Ätznatron bzw. Ätzkali die Elemente Natrium und Kalium herzustellen. Davy war davon überzeugt, dass der Schlüssel zum Verständnis der Chemie – und hier insbesondere zum Verständnis der Affinität – in der Elektrizität liege. Was aber ist Elektrizität? Davy meinte, Elektrizität entstünde, wenn zwei Elemente miteinander reagieren.

Ein wesentlicher Fortschritt wurde erzielt, als der schwedische Chemiker Jöns Jacob Berzelius (1779 – 1848) Davys Theorie aufgriff. Programmatisch waren Berzelius' Worte im 1812 gedruckten Band II seines Lehrbuchs. Er betitelte den Abschnitt mit „Die Grundzüge zu einer künftigen elektrochemischen Theorie“:

Wenn die Vermutungen, die ich im Vorhergehenden angeführt habe, eine einigermaßen richtige Vorstellung von dem Verhalten der Körper zur Elektrizität enthalten, so folgt daraus, daß das, was wir Affinität nennen, und alle Variationen, nichts anderes sind als der Effekt der elektrischen Polarität der Teilchen und daß die **Elektrizität das „primum movens“ bei allen chemischen Wechselwirkungen** ist. Sie ist der Ursprung von Licht und Wärme...

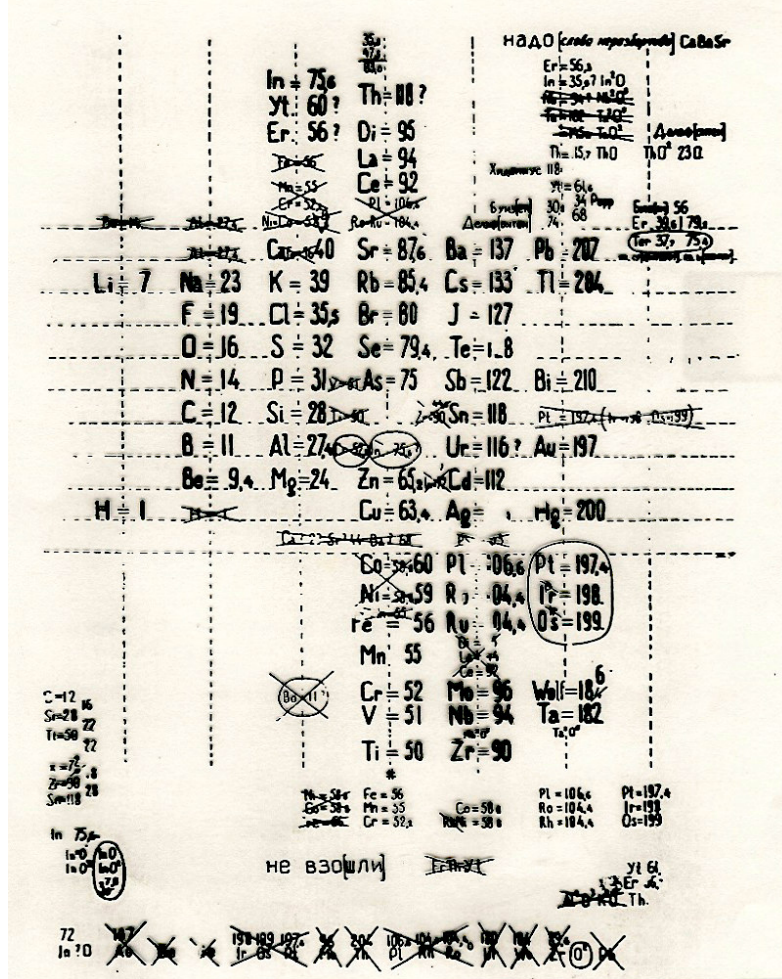
Ausgehend von experimentellen Ergebnissen der Elektrolyse von Salzschnmelzen, interpretiert Berzelius die Affinität der Stoffe als die Intensität ihrer Polarität. Berzelius unterscheidet „**elektropositive**“ Elemente von „elektronegativen“. Das Kalium ist sein elektropositivstes, der Sauerstoff sein elektronegativstes Element, wobei er unter einem elektropositiven Element ein solches versteht, „bei dem der positive Pol vorwaltet“. Bei einem elektronegativen hat „der negative Pol die Oberhand“. Jedenfalls konnte Berzelius mit seiner Hypothese vielfältige Befunde der Chemie klären und ein umfassendes dualistisches System errichten. Er unterschied Verbindungen 1. Ordnung wie das CuO (dieses angeschrieben in heutiger Schreibweise) von Verbindungen 2. Ordnung wie das Bariumsulfat BaO SO₃.

In der Folge zeigte sich, dass Berzelius' spezifische Unipolarität allein nicht alle beobachteten Phänomene und insbesondere nicht den Grad der Verwandtschaft von chemischen Körpern erklären konnte. Berzelius sah sich genötigt, als zusätzlichen Faktor die Intensität der Polarisierung einzuführen, d.h. genauer gesagt die Fähigkeit zur Polarisierung, heute würden wir dazu wohl „Polarisierbarkeit“ sagen. Er argumentierte etwa in der Weise, dass sich der Sauerstoff deswegen gieriger mit dem Schwefel als mit dem Blei verbindet, weil der positive Pol des Schwefels ein größeres Quantum an negativer Elektrizität des Sauerstoff-Poles neutralisieren kann.

Viel mehr als diese für uns eher befremdliche Vorstellung vom Zusammenhalt der Moleküle war um die Mitte des 19. Jahrhunderts nicht zu erreichen. Was Justus Liebig in seinen beliebten „Chemischen Briefen“ über die Atome sagt, klingt prophetisch, ist aber weit von einem wirklichen Verständnis der Zusammenhänge entfernt: „*Aber wir können uns auch denken, daß diese Atome nur physikalisch nach untheilbar sind, daß sie sich nur unserer Wahrnehmung nach so verhalten, wie wenn sie keiner weiteren Theilung mehr fähig wären; ein physikalisches Atom würde in diesem Sinne eine Gruppe von viel kleineren Theilchen sein, die durch eine Kraft oder durch Kräfte zu einem Ganzen zusammengehalten werden, stärker als alle auf den (sic!) Erdkörper zu ihrer weiteren Spaltung und zu Gebot stehenden Kräfte.*“ (7. Brief, zitiert nach der Volksausgabe von 1865, die 1. Auflage war die von 1844)

Der in der kleinen böhmischen Ortschaft Putschirn bei Karlsbad geborene Chemiker und Physiker **Josef Loschmidt** (1821 – 1895) spielt bereits im ersten Absatz seiner „Chemischen Studien I“ von 1861 auf Liebig's Vorstellung vom Atom an, insbesondere auf Liebig's

Vorstellung, dass zwischen den Atomen große leere Zwischenräume existieren.²⁴ Loschmidt denkt sich die Atome als Zentren einer kugelförmigen Wirkung von anziehenden oder abstoßenden Kräften, wobei „strenge genommen, die Actionssphäre eines Atoms von unbegrenzter Ausdehnung“ zu denken ist – ganz im Sinne von Bošković übrigens. Loschmidt entschließt sich bei der grafischen Darstellung der Atome, die Aktionsosphäre eines Atoms mehr oder weniger willkürlich bei einem „mässigen Durchmesser“ in Form einer Kugeloberfläche quasi abzuschneiden (was an eine bestimmte Orbitaldarstellung erinnert). Bei der



Bildung von Molekülen kommt es - nach Loschmidt - zur Durchdringung der beiden Sphären, Loschmidt spricht von einer „Durchkreuzung“. Bei Doppelbindungen durchdringen die Sphären einander stärker, bei Dreifachbindungen ist die Durchdringung maximal.²⁵ Loschmidt präsentiert uns hier auf wenigen Absätzen eine beinahe hellseherisch zu nennende Vorstellung des Molekülbaus ohne eine ausreichende physikalische Begründung geben zu können. Seine Darstellungen der Moleküle entsprechen einem heutigen *molecular modelling*.

²⁴ P.- M. Schuster, „From Curiosity to Passion: Loschmidt’s Route from Philosophy to Natural Science“ in: W. Fleischhacker and T. Schönfeld (Eds.), Pioneering Ideas for the Physical and Chemical Sciences, Proceedings of the Josef Loschmidt Symposium, Vienna 1995, Prentice Hall, New York and London 1995, pp. 269 – 276.

²⁵ Loschmidt folgte hierbei den Ideen Johann Friedrich Herbart (1776 – 1841). Herbart erhielt 1808 einen Ruf auf den Kantlehrstuhl in Königsberg, 1833 wurde er Professor in Göttingen. Herbart war nicht nur ein bedeutender Psychologe und Pädagoge. 1829 publizierte er in Königsberg seine „Allgemeine Metaphysik nebst den Anfängen der philosophischen Naturlehre“. Herbart vertrat darin die Ansicht, dass die Atome keinesfalls als harte Kugel aufzufassen seien, sondern als sphärische Strukturen, die einander anziehen und abstoßen, wobei sie sich teilweise durchdringen. Dabei befolgen dieses Spezies - er nannte sie „Elemente“ - bestimmte strukturelle Gesetzmäßigkeiten.

Noch Liebig verwendete den Begriff „Atom“ dort, wo wie heute „Molekül“²⁶ sagen würden. Der St. Petersburger Chemiker **Dmitrij Mendeleev** (1834 – 1907) war einer der ersten, der konsequent auf der Unterscheidung von Molekül und Atom insistiert. Dem Element entspricht der Begriff Atom, betont Mendeleev in seinem Artikel, in dem er seine Entdeckung – das Periodengesetz der chemischen Elemente und die daraus abgeleitete Periodentafel – veröffentlicht. Im Mendeleev-Museum in St. Petersburg ist in Manuskriptform eine frühe Tafel erhalten geblieben, die (nach der alten Zeitrechnung) mit 17. II. 1869 datiert ist. Chemisch verwandte Elemente finden wir hier in der gleichen Zeile; erst später hat sich Mendeleev dazu entschlossen, die verwandten Elemente in Spalten (Gruppen) zusammenzufassen. (Wenn man will, kann man die periodische Klassifikation der Elemente als den krönenden Abschluss der alten Bemühungen um die Tabellierung der chemische Verwandtschaft ansehen.)

Bernadette Bensaude-Vincent hat in ihrem Beitrag „Mendeleev: die Geschichte einer Entdeckung“ darauf aufmerksam gemacht, dass die Triebfeder der Tabellierung der chemischen Elemente in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts mit dem Versuch, die **Prout-Hypothese** entweder zu verifizieren oder zu falsifizieren, zusammenhängt.²⁷ Der englische Arzt William Prout (1785 – 1850) hatte schon 1815 die Hypothese aufgestellt, dass alle Elemente aus dem Wasserstoff abzuleiten wären, eine Vorstellung, die Daltons Atomgewichtstabelle von 1808 irgendwie suggeriert. Dem Wasserstoff ordnete Dalton das Atomgewicht 1 zu, der Stickstoff hat nach Dalton das Atomgewicht 5, Sauerstoff 7, Phosphor 9 usw. Später, nach genauerer Kenntnis der Atommassen, wurde die Prout-Hypothese abgelehnt. Erst durch die Entdeckung des radioaktiven Zerfalls, der Existenz von Isotopen und der Kernfusion erlebte sie ihre Rehabilitation.

1817 konnte der Jenaer Professor Johann Döbereiner (1780 – 1849) auf eine bemerkenswerte Relation der Atomgewichte von Verbindungen hinweisen: Das Gewicht des Strontiumoxids (50) entspricht genau dem arithmetischen Mittel der Gewichte des Calciumoxids (72,5) und des Bariumoxids (27,5). Der Brite John Alexander Newlands (1837 – 1898) stellte 1865 sein Oktavengesetz auf: Wie bei einer Tonleiter wiederholen sich die chemischen Eigenschaften nach sieben Elementen, wobei Newlands die Elemente nach dem Atomgewicht ordnet. (Die Edelgase waren damals noch nicht entdeckt.) Auch der Oxford Professor William Odlin (1829 – 1921) ging 1865 von einer nach dem Atomgewicht geordneten Reihenfolge der Elemente aus. Man suchte also schon vor Mendeleev nach den Gesetzen, die hinter der Verwandtschaft der Elemente stehen.

Nun aber wieder zurück zur **Natur der Kräfte**, welche Atome zu größeren Atomverbänden zusammenhalten. 1881 kam der deutsche Physiker Helmholtz in einer berühmt gewordenen *Faraday lecture* zum Schluss, dass, was immer auch chemische Affinität sein sollte (und er meinte damit die chemische Bindung), diese elektrischer Natur sein müsse. Im Falle von salzartigen Verbindungen wie KCl oder HF konnte man sich dies auch recht leicht vorstellen. Aber niemand hatte eine Ahnung, wie diese Elektrizität zur Bindung in Spezies wie O₂ oder Cl₂ beitragen sollte.

1897 bestimmte der englische Physiker Joseph John Thomson (1856 – 1940) im Cavendish Laboratory in Cambridge das Masse/Ladungsverhältnis der aus der Kathode einer Kathodenstrahlröhre austretenden **Elektronen**. Viel war damit auch noch nicht gewonnen. Woher kam dieses Elektron? Kam es aus Thomsons *plum-pudding*? 1904 entwickelte Thomson die erste

²⁶ Der Ausdruck „Molekül“ leitet sich ab vom lat. Wort *moles*: Masse, Klumpen, aber auch Damm (Mole).

²⁷ B. Bensaude-Vincent, „Mendeleev: Die Geschichte einer Entdeckung“ in: M. Serres (Hgb.), *Elemente einer Geschichte der Wissenschaften*, suhrkamp, Frankfurt/Main 1998, pp. 791 – 828.

elektronische Theorie der Valenz. Diese war eine Mischung aus dem elektrochemischen Schema von Berzelius und Maxwells Gleichungen für elektromagnetische Phänomene. Eine Bindung sollte dadurch zustande kommen, dass Atome ein oder mehrere Elektronen an andere Atome abgaben. Thomsons Theorie war eine rein elektrostatische, wobei sie einen polaren Charakter aller Bindungen postulierte.

Ebenfalls 1904 formulierte der früh bei einem Ballonabsturz ums Leben gekommene deutsche Elektrochemiker Richard Abegg (1869 – 1910) eine Art Achterregel für die Elemente der zweiten und dritten Periode des PSE: das **Gesetz der Valenz und Kontravalenz**. Ähnliche Ideen hatte schon zwei Jahre zuvor der amerikanische Chemiker Gilbert N. Lewis (1875 – 1946) gehabt, als er einen Aufenthalt in Manila nützte, um über verschiedene Dinge nachzudenken. Damals kritzelte er eine Serie von „kubischen Atomen“ aus der ersten Achterperiode des Periodensystems auf die Rückseite eines Briefumschlags (Abb. 2), wobei die im Falle des Lithiums nur ein Elektron eine der acht Ecken besetzte, im Falle des Fluors hingegen sieben Elektronen Plätze zugewiesen bekamen. 1916 wies der deutsche Physiker Walter Kossel darauf hin, dass Atome ihre äußeren Elektronen (die Valenzelektronen) dazu benutzen, heteropolare chemische Bindungen zu bilden und dabei die elektronische Struktur der nächsten Edelgase annehmen (**Edelgasregel**). Lewis stellte im gleichen Jahr seine **Oktettregel** auf. Lewis war der Erste, der begriff, dass Atome Außenelektronen nicht unbedingt austauschen müssen. Sie können sich zwei, vier oder sechs Elektronen auch teilen und auf diese Weise eine ko-valente Bindung erreichen, wobei im ersten Fall eine Einfach-, im zweiten eine Doppel- und im dritten eine Dreifachbindung die Folge ist. (Hat Lewis den Ausdruck „Kovalenz“ aus Abeggs „Kontravalenz“ abgeleitet und damit Abegg seine Reverenz erwiesen? Es ist zu vermuten.) Zunächst verlieh der aus New York stammende Nernstschüler und spätere Nobelpreisträger Irving Langmuir (1881 – 1957) der **Lewischen Theorie von den gemeinsamen Elektronenpaaren** Publizität, erst 1923 schrieb Lewis sein Meisterwerk „Valence and the Structure of the Atom“. Auf Seite 79 finden wir den Succus der Theorie in drei Sätzen (Hervorhebung durch Lewis):

The new theory, which includes the possibility of complete ionisation as a special case, may be given definite expression as follows: Two atoms may conform to the rule of eight, or the octet rule, not only by the transfer of electrons from one atom to another, but also by sharing one or more pairs of electrons. The electrons which are held in common by two atoms may be considered to belong to the outer shell of both atoms.

Die Lewis-Theorie war eine sehr erfolgreiche Theorie. Endlich konnte man die uralten chemischen Bindungsstriche²⁸ interpretieren. Lewis schaffte mit seinen Elektronenpaaren sogar eine neue **Säure-Basen-Theorie** aufzustellen; Säuren sind nach Lewis Elektronenpaar-akzeptoren, Basen Elektronenpaardonatoren. Damit war die Möglichkeit gegeben, die vielfältigsten nichtwässrigen Systeme unter Einbeziehung kompliziertester Metallkomplexe zu klassifizieren. Zusätzlich fand Lewis heraus, dass er auch eine zwanglose Interpretation der Wasserstoffbrückenbindung geben könne. Dennoch hafteten dem Lewis-Konzept zwei unbestreitbare Mängel an. 1.) Sie konnte die Existenz des Moleküls H_2^+ nicht vorhersagen. 2.) Sie war nicht zu quantifizieren. Man konnte mit ihr überhaupt nicht rechnen. Es handelte sich eigentlich um einen Regelsatz, der umfassendes Material chemischer Erfahrungen berücksichtigte.

²⁸ Die ersten Bindungsstrichformel stammt meines Wissens von Higgins aus dem Jahre 1789 für ein Stickoxid:



Die Zahlen sollen die Bindungsstärke der Stickstoff (P)-Sauerstoff(a,b,c)bindung repräsentieren. Als der eigentliche Erfinder der Strichformeln gilt C. Brown (1864).

Der Grund, warum man mit den Elektronenpaaren nichts berechnen konnte, war der, dass die Physik dahinter noch nicht entdeckt war. Es war nicht klar, wieso Paare von negativ geladenen Elektronen überhaupt irgendwie beieinander bleiben sollten. Nach der klassischen Elektrostatik müssen sich gleichsinnig geladene Teilchen abstoßen. Wie weit war die Physik um 1916? Die Antwort ist einfach. Die Quantenmechanik steckte noch in den Kinderschuhen. Es war die Zeit der alten Quantenmechanik, noch vor der Unschärferelation. Nicht einmal der Elektronenspin war noch entdeckt.

Bevor wir uns der bekannten Entdeckungsgeschichte des Atombaus zuwenden, sei an dieser Stelle - quasi als Marginalie - eine weniger verbreitete Geschichte eingeflochten, die sich 1909/1910 in Wien abgespielt hat. Der 1884 in Brünn geborene Arthur Erich Haas sucht mit einer wissenschaftshistorischen Arbeit Anfang 1909 an der Philosophischen Fakultät der Universität Wien um Erteilung der Lehrbefugnis für das Fach „Geschichte der Physik“ an.²⁹ Das Professorenkollegium ist zunächst ratlos. Wer soll eine derartige Arbeit begutachten? Das Ansuchen wird abgelehnt, dem Bewerber beschieden, er möge doch eine physikalische Arbeit als Habilitationsschrift einreichen. Um diese Auflage zu erfüllen, studiert Haas die neueste physikalische Literatur: Planck, Thomson, Rayleigh, Lorenz... Bei Planck liest er von geheimnisvollen Oszillatoren und vom Wirkungsquantum h . Arthur Erich Haas konnte sich diese Oszillatoren nur als Atome denken. Ende 1909 macht er sich an die Arbeit und unternimmt „*einen Versuch zu einer elektrodynamischen Deutung des Planckschen Wirkungselementes*“. Ziel sollte die Aufstellung einer Formel sein, die die Konstante h in einen Zusammenhang mit den Grundgesetzen der Elektronentheorie bringt. Dabei stellt Haas eine Formel für den Radius des einfachsten Atoms, des Wasserstoffs, auf. Er verglich die potentielle Energie des Elektrons mit der Planckschen Energie $h\nu$. In der Folge gab Haas auch die erste Deutung der Rydberg-Konstanten. Schließlich berechnete er aus der Rydberg-

²⁹ Haas besuchte von 1894 bis 1902 das Gymnasium in Brünn und inskribierte danach an der Universität Wien. Im Sommersemester 1904 ging er nach Göttingen, wo er zusammen mit Max Born einen Seminarvortrag vorbereitete. 1906 kehrt er nach Wien zurück und promoviert mit einer Dissertation über „Antike Lichttheorien“ zum Dr. phil. Jahre der „wissenschaftlichen Isoliertheit“, wie er sich ausdrückte, folgten, da ihn nichts an der damaligen Wiener Physik begeistern konnte. Haas befasste sich mit Wissenschaftsgeschichte. Auf der Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften 1908 in Köln wird der berühmte Karl Sudhoff auf Haas aufmerksam. Nach dem missglückten Habilitationsversuch von 1908 und dem ebenfalls missglückten Präsentation seiner Deutung der Planckschen Wirkungsquantum 1910, wurde das Haassche Atommodell am 1. Solvaykongress in Brüssel 1911 vorgestellt und diskutiert. Sein Modell war zwar alles andere als perfekt, wies dennoch den Weg: künftige Atommodelle müssen auf quantentheoretischer Basis erstellt werden. Auch Bohr hat von den Haasschen Arbeiten Wind bekommen. Inzwischen hatte auch Friedrich Hasenöhl in Wien begriffen, dass Haas kein vollkommener Dilettant sein kann. Hasenöhl forderte Haas auf, sein Habilitationsansuchen zu erneuern. Zu dieser Zeit erhielt Haas auch ein Angebot von Sudhoff, die Ausarbeitung eines neuen Bandes von Poggendorffs Biographisch-Literarischem Handwörterbuch zu übernehmen. Haas wartet indes in Wien auf seine Ernennung zum Privatdozenten (August 1912). Im darauffolgenden Wintersemester hielt er seine erste Vorlesung „Geschichte der Physik I“. Nach einem Gastvortrag im März 1913 an der Leipziger Universität wurde er im Herbst desselben Jahren zum außerordentlichen ao. Prof. der philosophischen Fakultät der Universität Leipzig mit Lehrbefugnis für Geschichte der Physik berufen. Mit Ausbruch des 1. Weltkrieges wurde Haas als österreichischer Staatsbürger nach Wien berufen, Mitte 1917, wegen „Kriegswichtigkeit des Poggendorffschen Unternehmens“, aus dem Militärdienst entlassen. Haas ging nach Leipzig zurück, er arbeitete unter anderem an einem Lehrbuch der theoretischen Physik. Nach seiner 1921 in Wien erfolgten Habilitation für das Fach Physik wurde er 1926 Extraordinarius. 1924 heiratete er Emma Beatrice Huber, die ihm zwei Söhne gebar. 1927 und 1931 unternahm er ausgedehnte Vortragsreisen in die USA, 1935 Visiting Professor in Brunswick, Main. Einstein empfahl ihn an die Universität von Indiana. **Haas betrieb Wissenschaftsgeschichte aus Interesse für die historischen wie die modernen Theorien, denn er vertrat die Überzeugung, dass keine andere wie die geschichtliche Methode geeignet sein kann, das Verständnis physikalischer Prinzipie zu erleichtern und die Erkenntnis ihrer Bedeutung zu klären und zu vertiefen,** schrieb einer seiner Biografen. Lit.: A. Hermann, *Weltreich der Physik*, 3. Aufl. GNT-Verlag, Stuttgart 1991, pp. 304 – 311. A. E. Haas, *Der erste Quantenansatz für das Atom*, Ernst Battenberger Verl., Stuttgart 1965. A. E. Haas, *Die Welt der Atome*, 1937.

konstanten einen Atomradius a , den er mit $1,88 \cdot 10^{-8}$ cm angab (zum Vergleich: Bohrscher Radius $a_0 = 0,529 \cdot 10^{-8}$ cm).

Im Lebensrückblick schreibt Haas: „*In Wien fand ich zunächst Geringschätzung. Als ich im Februar 1910 in der Wiener Chemisch-Physikalischen Gesellschaft über meine Arbeit vortrug, glaubte Lecher besonders witzig zu sein, als er in der öffentlichen Diskussion das Ganze einen Faschingsscherz nannte. Als Laurenz Müllner (der Philosoph) sich bei Hasenöhrl nach mir erkundigte, erklärte ihm dieser, daß ich nicht ernstgenommen werden kann, weil ich naiverweise Wissenszweige, die gar nichts miteinander zu tun haben wie Quantentheorie (als etwas Wärmetheoretisches) und Spektroskopie (als etwas Optisches) miteinander vermenge. Ich war begreiflicherweise auf das tiefste entmutigt.*“

Haas wurde 1913 Professor für Physikgeschichte in Leipzig, war seit 1921 Professor für Physik in Wien. 1936 ging er in die USA, und zwar an die University of Notre Dame, South Bend, Indiana. Er starb am 20. Februar 1941 in Chicago. Haas war nicht nur der erste gewesen, der versuchte quantentheoretische Gesetze auf den Atombau anzuwenden, Haas hat 1929 als erster von der **Quantenchemie** gesprochen. Er war offensichtlich zu früh mit seinen Ideen vorgeprescht, die Zeit war 1910 dafür „noch nicht reif“ gewesen.

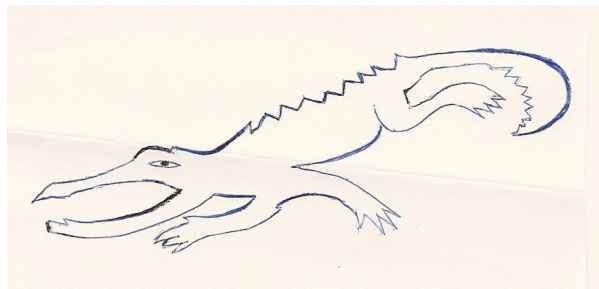


Abb. 3. Das Fabeltier am Eingang zum Cavendish-Laboratoriums in Cambridge. Pjotr Kapitza erklärte auf die Frage, was das Tier eigentlich bedeute, dies sei ein Geheimnis...

In Gang gekommen war die Diskussion um den Atombau 1911 durch einen britischen Physiker neuseeländischer Herkunft, der sich selber gerne als Alchemisten sah: Ernest Rutherford (1871 – 1937), seit 1931 Lord Rutherford. Über Rutherfords Arbeitstisch in Cambridge hing ein Holzschnitt, der den Blick in eine alchemistische Küche zeigte, Rutherford besaß alchemistische Literatur, eines seiner Bücher trägt den Titel „Die neue Alchemie“. Heute noch ist am Mauerwerk seines Laboratoriums ein alchemistisches „Krokodil“ (eigentlich der Ouroboros) eingeritzt, welches 1933 der berühmte Künstler Eric Gill auf Wunsch des Rutherfordschülers Piotr Kapitza für Rutherford anbrachte. Bereits Rutherfords erste Arbeit, die Identifikation der α -Strahlen als Heliumatomkerne, die einen instabilen Atomkern verlassen, war im Grunde genommen mit der Erkenntnis der Möglichkeit einer „Transmutation“ von chemischen Elementen verknüpft.³⁰ 1911 sah sich Rutherford dazu gezwungen, die **Existenz eines Atomkerns** zu postulieren. 1919 erkannte er die erste „künstliche“ Kernreaktion: Stickstoffatomkerne werden beim Beschuss mit α -Strahlen in Sauerstoffatomkerne umgewandelt, wobei ein Proton frei wird: Die erste wirkliche *transmutatio specierum*, nach der die Alchemisten 2000 Jahre lang gesucht haben.

Von 1911 bis 1913 arbeitet der dänische Physiker Niels Bohr (1885 – 1962) als Mitarbeiter Rutherfords in Cambridge. Bohr hat 1913 einen überraschend großen Erfolg mit der Inter-

³⁰ Die Radium-Präparate, die Rutherford für seine Messungen zur Verfügung standen, stammten zum größten Teil aus dem böhmischen St. Joachimsthal. Sie waren um 1907 in Auer von Welsbachs Fabrik von den Chemikern Ludwig C. Haitinger und C. Ulrich in Atzgersdorf bei Wien aus der Pechblende isoliert worden.

pretation des Wasserstoffspektrums: **Um den Atomkern bewegen sich strahlungsfrei Elektronen auf Kreisbahnen** und besitzen eine charakteristische Energie W_n . Bei Sprüngen zwischen den Bahnen wird der Differenzbetrag ΔW als Lichtquant abgestrahlt. Als nun Bohr dazu übergehen wollte, Atome mit mehreren Elektronen zu beschreiben, wurde es überraschend kompliziert. Arnold Sommerfeld (1868 – 1951) in München übernahm die Verallgemeinerung der Quantisierungsregeln. 1922 konnte Bohr die Architektur des Periodischen Systems der Elemente durch die Zuordnung von Elektronen zu bestimmten Bahnen erklären. Intensiv befasste sich Bohr mit der Stellung der Seltenen Erden. Er war stolz darauf, das Problem gelöst zu haben. In seinem Nobel-Vortrag von 1922 sagte Bohr: „*Es ist in der Tat kaum eine Übertreibung zu behaupten, daß, falls die Existenz der seltenen Erden nicht durch experimentelle Forschung direkt bestätigt wäre, das Vorkommen einer Elementenfamilie dieses Charakters in der sechsten Periode des natürlichen Systems der Elemente theoretisch vorausgesagt hätte werden können.*“

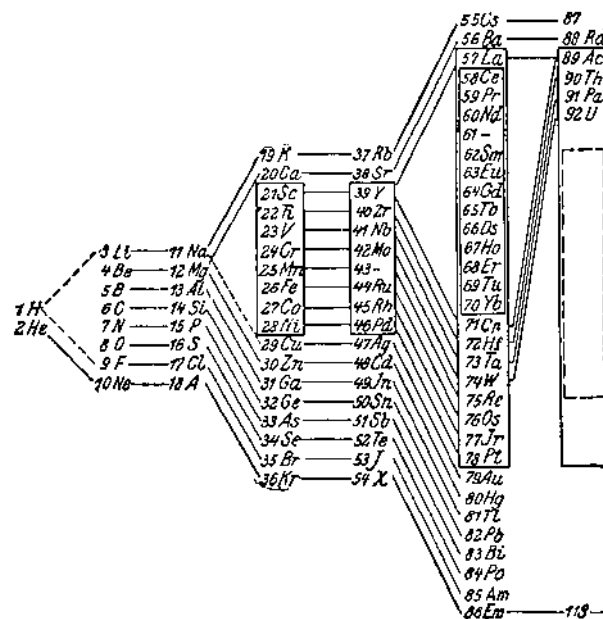


Abb. 4. Bohrs Periodensystem, das noch vor Paulis Ausschließungsprinzip aufgestellt wurde. (Annalen der Physik 71, 1923, 228) Das Element 71 gibt Bohr mit Cp an – Auers Cassiopeium! Und nicht Urbains Lutetium. Bohrs Bahnzuordnungen waren - wenigstens bis zur 6. Periode – richtig. 1922/1923 stellte Bohr - Ideen der fächerförmigen Anordnung der Elemente von Thomas Bayley (1882) und Hans Peter Jørgen Julius Thomsen (1895) folgend³¹ - ein **Periodensystem der chemischen Verwandtschaft** nach seinen Vorstellungen auf. Bohr konnte die richtigen Positionen der Leerstellen für die Elemente 43 (später Technetium, Tc), 61 (Prometium, Pm), 72 (Hafnium, Hf) und 75 (Rhenium, Re) angeben und reservierte freie Plätze für die 5f -Elemente. Bohrs Angaben zufolge sollte das Element 72 nicht zu den Seltenen Erden gehören. Es sollte in seinen chemischen Eigenschaften (z.B. den Oxidationsstufen) dem Zirkonium ähnlich sein. Damals lagen Berichte über die Entdeckung des Elementes 72 bereits vor, darunter ein Bericht Urbains, der dem Element, obwohl Moseley es in seinen Proben nicht hatte finden können, bereits den Namen „Celtium“ gegeben hatte. In Bohrs Institut setzte nun eine gezielte Suche ein. Schon ein Jahr später konnten Bohrs Freund, der ungarische Physikochemiker Georg von Hevesy (1885 – 1966), und der niederländische Röntgenspektroskopiker Dirk Coster (1889 – 1950) die Identifizierung des Elementes 72 in Zirkoniumerzen vermelden. Sie nannten es Hafnium.³²

³¹ Hans Peter Jørgen Julius Thomsen war ein dänischer Chemiker, der 1826 in Kopenhagen geboren wurde und ebenfalls in Kopenhagen 1909 starb. Er tabellierte als erster die Azidität von Säuren. Von Thomas Bayley ist nur das Geburtsjahr 1854 bekannt.

Danach ging es in großen Schritten vorwärts. Anfang 1925 formulierte der in Wien geborene Wolfgang Pauli (1900 – 1958) nach Studien zum anomalen Zeeman-Effekt das Ausschließungsprinzip: In einem Atom kann es nicht zwei Elektronen mit identischen Quantenzahlen geben. Im November entdeckten G. E. Uhlenbeck (1900 – 1988) und S. A. Goudsmit (1902 – 1978), zwei holländische Physiker, den **Elektronenspin**, mit dessen Hilfe die 4. Quantenzahl eine zwanglose Interpretation fand. Der deutsche Physiker Friedrich Hund erkannte - ebenfalls 1925 - die Regel der maximalen Spinmultiplizität. (Langsam dämmerte es den Physikern, warum Elektronenpaare stabil sein können; die elektrostatische Abstoßung wird durch die elektrodynamische Anziehung wenigstens teilweise kompensiert.)

Im Mai des gleichen Jahres hatte Werner Heisenberg während eines Aufenthalts auf Helgoland die Grundzüge seiner später mit Max Born und Pascual Jordan publizierten Matrizenmechanik ausgearbeitet. Im Januar 1926 stellte Erwin Schrödinger (geb. am 12. August 1887 in Wien III, Apostelgasse 17 – gest. am 4. Jänner 1961 in Wien IX, Pasteurgasse 4) in Arosa die **Schrödinger-Gleichung** auf. Schrödinger griff darin Louis Victor de Broglies Idee der Elektronen-Materiewellen auf. Bei Schrödingers Wellenfunktion ψ - er nannte sie zunächst noch „Feldskalar“ - ergab sich die Quantelung quasi automatisch. Die Energieniveaus des Wasserstoffs stellten sich als dreidimensionale Analoga zu den Eigenfrequenzen einer schwingenden Saite heraus.³³

Im Februar 1927 berichtete Heisenberg seinem Freund Pauli in Hamburg brieflich von einer neuen interessanten Entdeckung: Beim Versuch, die Kollision zwischen zwei Elektronen zu beschreiben, verhielten sich die Variablen p und q , die den Impuls und die Position der Elektronen darstellten, merkwürdig. Sobald man Kontrolle über eine der beiden Größen annahm, musste man sich damit abfinden, dass die andere „unkontrolliert“ sei. Heisenberg hatte die **Unbestimmtheitsrelation** - eine Folge der Wellennatur der Elektronen - erkannt. Es ist bei Messungen unmöglich, gleichzeitig dem Wellen- und Teilchencharakter der Teilchen gerecht zu werden. Niels Bohr fasste diese Erkenntnis im Juli 1927 im Begriff der „Komplementarität“ zusammen.³⁴

Was danach kam, ist gelegentlich unter dem Schlagwort „Trauerarbeit“ subsummiert worden. **Quantenmechanische Objekte werden durch die Versuchsanordnung in ihren Eigenschaften bestimmt. Jede Messung ist eine Wechselwirkung. Es ist unmöglich, Eigenschaften isolierter Objekte zu bestimmen.**

Während etliche Physiker mit der Deutung ihrer Erkenntnisse beschäftigt waren, publizierten Walter Heitler (1904 – 1981) und Fritz London (1900 – 1954) die erste quantenmechanische Rechnung am Molekül H_2 (Z. Phys. **44**, 1927, 455). 1927 war die Geburtsstunde der **Theorie der chemischen Bindung auf quantenmechanischer Grundlage**.³⁵

Die erste Phase der Quantenchemie, die von 1927 bis 1935 dauerte, war gekennzeichnet dadurch, dass man sich bemühte, die bekannten Regeln der klassischen Valenztheorie quantentheoretisch zu verstehen und plausibel zu machen. Man versuchte noch nicht, in

³² E. Segrè, Die großen Physiker und ihre Entdeckungen, Band 2, Sonderausgabe, 2. Aufl., Piper, München 1998, p. 150 (612).

³³ G. Kerber, A. Dick, W. Kerber, Dokumente, Materialien und Bilder zur 100. Wiederkehr des Geburtstages von Erwin Schrödinger, Fassbaender, Wien 1987.

³⁴ W. Heisenberg: Physik und Philosophie (1959), Ullstein-Verl., Frankfurt etc. 1973. W. Heisenberg, Der Teil und das Ganze, Piper, München 1971. Zum Begriff der Komplementarität siehe C. F. von Weizsäcker: Aufbau der Physik, dtv, München 1988, p. 506ff.

³⁵ Der Ausdruck „Quantenchemie“ ist erstmals 1929 vom österreichischer Physiker Arthur Erich Haas (1884 – 1941) geprägt worden.

deduktiver Weise aus der Quantentheorie Aussagen über Struktur und Eigenschaften von Molekülen abzuleiten. Dieser Weg war damals noch viel zu schwierig. Als Ausweg schlug Linus Pauling (1901 – 1994) 1931 die Einführung des Begriffes „**Hybridisierung**“ vor. In einer Serie von Aufsätzen und seinem Lehrbuch „The Nature of the Chemical Bond“ begründete Pauling die **Valence Bond (VB) Theorie**. Zur gleichen Zeit bemühten sich Fritz Hund und Robert Mulliken (1896 – 1986) die Spektren zweiatomiger Moleküle zu verstehen. Sie konnten zeigen, dass eine Beschreibung eines Moleküls durch Molekülorbitale (MOs) eine sehr gute Näherung darstellt. Zum qualitativen Verständnis der MO-Energien erwiesen sich die sogenannten Korrelationsdiagramme als nützlich. Von Lennard-Jones stammte der Vorschlag, Molekülorbitale als Linearkombinationen von Atomorbitalen darzustellen: die **LCAO-MO-Methode**. Nevil V. Sidgwick (1873 – 1952) dehnte 1932 das Konzept der kovalenten Bindung auch auf Metall-Komplexverbindungen aus. Die Bedeutung der d-Orbitale der Metall-Zentralatome erkannten H. Bethe, R. Schlipp, W. Penney und J. van Vleck. Die damit begründete **Kristallfeldtheorie** wurde erst in den Fünfzigerjahren von Leslie Orgels **Ligandenfeldtheorie** abgelöst. Es so spät gelang es, MO-theoretische Prinzipien mit der im Grunde elektrostatisch argumentierenden Kristallfeldtheorie zu versöhnen.

1933 erkannte der deutsche Physiker Hans G. A. Hellmann (1903 – 1938) als erster die **Natur jenes quantenmechanischen Effektes, der zur chemischen Bindung führt**: Beim Zusammentreten von getrennten Atomen zum gemeinsamen Molekül vergrößert sich der Raum, der den Elektronen zur Verfügung steht; die Ortsunschärfe nimmt zu. Dies impliziert eine Verkleinerung der Impulsunschärfe. Da der mittlere Impuls 0 ist, werden insgesamt kleinere Impulse wahrscheinlicher, was zur **Verkleinerung der kinetischen Energie der Elektronen** führt.³⁶

³⁶ **Hans G. A. Hellmann** ist wohl als der eigentliche Begründer der Quantenchemie zu bezeichnen. Geboren am 14. Oktober 1903 in Wilhelmshaven, studierte er zwischen 1922 und 1929 in Stuttgart und Kiel bei Kossel und Ewald. In Kiel arbeitete er an der Verifizierung der Debye-Hückel-Onsager-Falkenhagen-Theorie der Dielektrizitätskonstanten ionischer Lösungen. Seine Doktorarbeit betreuten Otto Hahn und Lise Meitner in Berlin. Er heiratete Victoria Bernstein, eine jüdisch-ukrainische Waise. Im Oktober 1929 wurde ihm sein Sohn Hans (H. Hellmann jr.) geboren. Im gleichen Jahr nahm Hellmann eine Stelle am Technologischen Institut in Hannover an. 1933 arbeitete unter anderem am Problem der Geometrie des NH₃-Molekül, an einem molekularen Virial-Satz und am Hellmann-Feynmann-Theorem. Zusammen mit dem jungen Physiker W. Jost schrieb Hellmann für die Zeitschrift für Elektrochemie einen Aufsatz über grundlegende Ideen zur Quantenchemie und zur chemischen Bindung (Z. Elektrochemie 40, 1934, 806). Sein 1933 eingereichtes Habilitationsansuchen wurde abgelehnt, außerdem verlor er am 24. Dezember 1933 seine Stelle als Assistenzprofessor, weil seine Frau Jüdin war. Da ihm eine Stelle am Karpov-Institut für Physikalische Chemie in Moskau angeboten wurde, verließ Hellmann seine Heimat und ging mit der Familie in die Sowjetunion, wo er 1934 seine Arbeit über Pseudopotentiale mit dem Titel „Kombiniertes Näherungsverfahren“ beendete. Er schrieb damals an seinem Lehrbuch der Quantenchemie, welches Anfang 1937 als „Kvantovaja Khimija“ zunächst in russischer Sprache in Moskau gedruckt wurde. Nach einer Überarbeitung erschien noch im gleichen Jahr 1937 im Deuticke-Verlag in Wien Hellmanns Lehrbuch „Einführung in die Quantenchemie“ auf Deutsch. Im März 1938 wurde Hellmann in Moskau unter dem Vorwand der Spionage für Deutschland verhaftet und ohne Gerichtsverfahren nach wenigen Wochen - nach neuesten Archivstudien am 29. Mai 1938 - im Taganka-Gefängnis erschossen. Seiner Frau wurde viele Jahre später mitgeteilt, ihr Mann wäre an einer Infektionskrankheit in der Haft verstorben. Hellmann Sohn, Dipl. Ing. Hans Hellmann, durfte erst 1991 Russland verlassen. Er lebt derzeit in Siegen (Deutschland). Lit.: M. A. Kovner, „Hans Hellmann und die Geburt der Quantenchemie“, Chimija i Zhizn 5, 2000, pp. 58 – 61; W. H. E. Schwarz, D. Andrae, S. R. Arnold, J. Heidberg, H. Hellmann jr., J. Hinze, A. Karachalios, M. A. Kovner, P. C. Schmidt, L. Zülicke, „Hans G. A. Hellmann (1903 – 1938)“, Bunsen Magazin 1999, (1) pp. 10 – 21; W. H. E. Schwarz, A. Karachalios, S. R. Arnold, L. Zülicke, P. C. Schmidt, M. A. Kovner, J. Hinze, H. Hellmann jr., J. Heidberg, D. Andrae, „Hans G. A. Hellmann (1903 – 1938)“, Bunsen Magazin 1999, (2) pp. 14 – 24; W. H. E. Schwarz und J. Hinze, „Short biography of Hans G. H. Hellmann (1903 – 1938)“ schwarz@chemie.uni-siegen.de

Die zweite Phase der Quantenchemie umfasst die Zeitspanne von 1935 bis 1950. Etwa um 1935 war – ohne Berücksichtigung der Erkenntnisse Hellmanns, ja im wesentlichen sogar entgegen seinem richtigen Ansatz - die allgemeine Meinung die, dass das Problem der chemischen Bindung im Prinzip gelöst sei. Wäre man ehrlicher gewesen, hätte man sehen müssen, dass nur die durch Intuition und Überlegen lösbaren Fragestellungen erschöpft waren. Für die wirklich schweren „Brocken“ war die Zeit noch nicht reif.

Um 1950 setzt eine dritte Phase in der Entwicklung der Quantenchemie ein. Die Computertechnologie hatte in der Zwischenzeit so große Fortschritte gemacht, dass Probleme in Angriff genommen werden konnten, die früher an zu hohem Rechenaufwand gescheitert waren. Es wurden damals auch neue Verbindungsklassen entdeckt, deren Behandlung im Rahmen der klassischen Valenztheorie unmöglich gewesen wäre: z.B. die Borhydride und die Metall-Aromaten-Komplexe. Es sind dann auch solche Verbindungen hergestellt worden, die die Theorie verabsäumt hatte vorherzusagen. Zu nennen sind hier an erster Stelle die Edelgasverbindungen.

Ausgehend von den Sidgwick-Powell-Regeln, nach denen die Form eines Moleküls von der Zahl der Elektronenpaare in der Valenzschale abhängt, verfeinerten der Australier Ronald Nyholm (1917 – 1971) und sein amerikanischer Kollege Ronald Gillespie (*1924) von 1957 bis 1961 die Ansätze zu einer ausgefeilten Vorhersagemöglichkeit für **Molekülgeometrien**. Ihre **Valence Shell Electron Pair Repulsion (VSEPR)**-Theorie erlaubt es, komplexeste quantenchemische Gesetzmäßigkeiten mit Hilfe eines primitiven Regelsatzes anzugeben. Damit war die Frage gestellt, wie so etwas überhaupt möglich ist. Wie passen die simplen Bindungsstriche chemischer Formeln mit den unübersichtlichen Rechenergebnissen von MO-Rechnungen zusammen?

Ab 1962 spielten derartige Fragen der chemischen Interpretation von Rechenergebnissen eine immer größere Rolle. Die berühmte 1960 anlässlich eines Festvortrags von Mulliken formulierte Frage „What are the electrons really doing in molecules?“ wird aufgegriffen und beantwortet. Und zwar zunächst von K. Ruedenberg, G. Edmiston und S. F. Boys. Dabei stellte sich heraus, dass die oft streng lokalisierte Beschreibung von Molekülen durch ihre Valenzstrichformel mit der weitgehend delokalisierten Repräsentation in kanonischen Molekülorbitalen äquivalent ist. Es ist möglich, von der einen Beschreibung auf die andere überzugehen. Durch Lokalisierungsverfahren können Molekülorbitale in **lokalisierte Elektronenpaare (IMOs)** im Sinne von Bindungsstrichen umgerechnet werden.

Der nächst logische Schritt war die quantenmechanische Interpretation des Ablaufes chemischer Reaktionen. Ein wichtiger Schritt wurde dazu von F. Fukui gesetzt, der von 1952 bis 1965 die **Grenzorbitaltheorie** begründete: Für viele Reaktionen sind jeweils das höchste besetzte (HOMO) und das tiefste unbesetzte Molekülorbital (LUMO) der reagierenden Spezies wichtig. Robert B. Woodward (1917 - 1979) und Roald Hoffmann (*1937) gelang es 1965, bestimmte Ringschlussreaktionen der organischen Chemie im Sinne einer **Erhaltung der Orbitalsymmetrie** zu verstehen.

Weniger befriedigend war das Zusammenspiel von Theorie und Empirie auf dem Gebiet der Säure-Base-Wechselwirkungen. Viel zu lange begnügte man sich, Substanzen und Reaktionen phänomenologisch zu klassifizieren. Das betrifft sowohl Viktor Gutmanns (1921 - 1998) von 1966 bis 1978 entwickeltes Konzept „Donor-Acceptor-Approach to Molecular Interaction“, als auch das von Ralf Pearson 1963 in den USA entwickelte HSAB-Konzept der harten und weichen Säuren und Basen. Die Denkmuster schienen zu weit auseinanderzuliegen, waren es aber nicht. Sowohl die MO-Betrachtungen als auch die aus thermodynamischen Daten

ermittelten Donor- oder Akzeptorzahlen sind gleichermaßen Ergebnis wie Ausgangspunkt von Wechselwirkungen. Sie müssen vergleichbar sein. Ein Grund für das beziehungslose Nebeneinander beider Welten war wohl auch, dass einige Chemiker (wie Gutmann) lange Zeit hindurch die Energien der Molekülorbitale als inobservable Größen ansahen. In den Siebzigerjahren gelang es, Einblicke in die MO-Energien direkt über **Fotoelektronenspektren** zu erhalten, nachdem T. A. Koopmans schon 1933 auf eine Beziehung zwischen den Orbital- und den Ionisationsenergien hingewiesen hatte.

Wie weit die quantenchemische Theorie in den Achzigerjahren gekommen ist, kann hier nur mehr angedeutet werden. 1988 publizierte Roald Hoffmann sein Buch „SOLIDS and SURFACES – A Chemist’s View of Bonding in Extended Structures“, eine Erweiterung von Grenzorbitalbetrachtungen und Extended Hückel-Rechnungen auf Feststoffe und Oberflächen. Schlussfolgerung: die Orbitaltheorie ist in der Lage, die vielfältigsten Eigenschaften nunmehr auch der kondensierten Materie zu beschreiben.

In der allerjüngsten Vergangenheit wurde die große Bedeutung der Quantenchemie unter anderem bei der Verleihung der Chemienobelpreise 1998 an John Anthony Pople (*1925 in England) und Walter Kohn (*1923 in Wien) berücksichtigt. Pople erhielt diese Ehrung für seine entscheidenden Beiträge zur Verbesserung der Rechenverfahren der Quantenchemie, Kohn für sein Elektronendichte-Funktional.

Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang auch der Physiknobelpreis 2001, der an Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle und Carl E. Wiemann für die Erzeugung des Bose-Einstein-Kondensats mit Hilfe stark verdünnter gasförmiger Alkaliionen verliehen wurde. Insgesamt ist die Zahl an Physik-Nobelpreise, die für Arbeiten im Kontext der Quantentheorie vergeben wurden, beachtlich. Die Pioniere erhielten alle die begehrte Auszeichnung: Max Planck 1918, Albert Einstein 1921, Niels Bohr 1922, James Franck und Gustav Hertz 1925, Arthur Compton 1927, Louis-Victor de Broglie 1929, Werner Heisenberg 1932, Paul Dirac und Erwin Schrödinger 1933, Otto Stern 1943, Isidor Rabi 1944, Wolfgang Pauli 1945, Max Born 1954, Richard Feynman 1965. Nicht zu vergessen sind die Chemienobelpreise, die für quantenchemische Arbeiten an Linus Pauling 1954, Robert Mulliken 1966, Kenichi Fukui und Roald Hoffmann 1981 gingen.

Die Quantentheorie hat es geschafft, Physik und Chemie von einem gemeinsamen Standpunkt aus zu betrachten. Die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation macht verständlich, warum das Elektron im Falle des Wasserstoffatoms nicht in den Kern fällt, Schrödingers Wellenfunktionen erlauben die Berechnungen der stabilen Zustände der Elektronen. Wir verstehen die Stabilität des einfachsten Moleküls H_2^+ als Interferenzeffekt und damit überhaupt die Stabilität aller Moleküle als Wellenphänomen: Gewährt man den Elektronen größere Aufenthaltsräume, sinkt deren kinetische Energie.

Die Frage ist, ob die Heisenbergsche Unschärfebeziehung $\Delta x \cdot \Delta p \geq h / 2\pi$ als nicht mehr hinterfragbarer Grund aller quantenphysikalischer Phänomene angesehen werden muss, oder ob es noch eine weitere Begründung gibt. Carl Friedrich von Weizsäcker äußerte sich zu dieser Frage dahingehend, dass er eher Bohrs **Komplementaritätsprinzip** als grundlegendere Realität ansah. In einer darüberhinausgehenden Reflexion untersuchte Weizsäcker in seiner „Logik zeitlicher Aussagen“ die Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung überhaupt. Erfahrung, sagt er, heißt, aus der Vergangenheit für die Zukunft lernen. Erfahrung setzt demnach einen selbstverständlichen Gebrauch der Zeit voraus, und zwar in ihren „modi“ Vergangenheit und Zukunft. Vergangene Ereignisse sind faktisch, sind unabänderlich. Zu-

künftige Ereignisse aber nur möglich. Möglichkeiten beschreiben wir durch Wahrscheinlichkeiten oder Wellenfunktionen.³⁷

Fakten, Reflexionen und Fragen zur Stabilität der Materie

Es ist im Grunde wirklich ein nicht leicht zu begreifendes Paradox, dass die Stabilität eines Atoms der Wellennatur zu verdanken ist. Nach der Heisenbergschen Unschärferelation³⁸ wüsste man von einem Elektron, das sich ganz am Atomkern befindet, die genaue Position, was die mittlere quadratische Ortsungenauigkeit sehr klein machte. Da das Produkt von Impuls- und Ortsunschärfe nie kleiner als $h/2\pi$ werden kann, wird die mittlere Impulsabweichung hoch, was nur bei großen Impulsen der Fall sein kann. Ein großer Impuls bedingt hohe kinetische Energie. Elektronen ganz am Kern haben eine extrem hohe kinetische Energie. Kollege Molzer hat einmal in einem Lehrbuch die Sache so zusammengefasst, indem er sagte: „Denke dir das Elektron als eine Katze. Wenn du die Katze in einen ganz engen Käfig sperrst, so wird sie wild, sie hat eine hohe kinetische Energie. Wenn du ihr aber eine großen Käfig zubilligst, so wird sie träge“. Man kann das Bild weiterspinnen und die potentielle Energie insofern berücksichtigen, dass man den großen Käfig auf ein wackeliges Gerüst mit vielen Stufen stellt, den kleinen aber ganz unten positioniert. Irgendwo zwischen den Extrempositionen ist dann eine halbwegs vernünftige Situation mit einem Energieminimum zu finden.

Auch beim Übergang von Atomen zu Molekülen ändert sich der Grund der Stabilität nicht. Wie Werner Kutzelnigg eindrücklich am Molekül H_2^+ darstellen konnte, ergibt eine reine klassische Rechnung nach den Kräften für die Coulombsche Abstoßung der beiden Protonen und der Anziehung Proton₁-Elektron und Proton₂-Elektron keinerlei Energieminimum, wie groß oder klein auch immer der Abstand beider Protonen sein mag.³⁹ Ein Energieminimum resultiert erst bei der Berücksichtigung der Wellennatur des Elektron. Die klassische Rechnung entspricht einer Summierung der beiden Quadrate der Wellenfunktionen. Erst wenn man das Quadrat der resultierenden Wellenfunktion nach der Interferenz ausrechnet, zeigt sich eine hohe Wahrscheinlichkeit, das Elektron genau zwischen den beiden Atomen anzutreffen. Dieses Faktum ergibt insgesamt eine Anziehung. Will man exakte Werte für die Bindungsenergie erzielen, muss man auch noch einen Kontraktionsbeitrag berücksichtigen, der sich aus der erhöhten positiven Ladung (nun zwei Protonen statt einem Proton wie im Atom) ergibt.

Geht man von H_2^+ zum Molekül H_2 über, ändert sich an der grundsätzlichen Aussage, dass der Interferenzbeitrag bei weitem der wichtigste ist, nichts. Es muss allerdings die sogenannte Elektronenkorrelation berücksichtigt werden. Elektronen weichen, wenn es geht, einander aus, wenngleich die reine Coulombabstoßung auf Grund magnetischer Effekte durch die antiparallelen Spins zum Teil aufgehoben wird. Insgesamt hat dieser Effekt zur Folge, dass die Bindungsenergie einer Elektronenpaarbindung etwas kleiner ist als die doppelte

³⁷ C. F. von Weizsäcker: „Nachwort“ in: Quantenphilosophie, Spektrum, Akadem. Verl. Heidelberg etc. 1996, p. 202. C. F. von Weizsäcker: Zeit und Wissen, dtv wissenschaft, München 1995, p. 192ff.

³⁸ Ist es möglich, ein anschauliches Bild für die Unschärfebeziehung zu finden? Man betrachte eine lange wassergefüllte Rinne. Wirft man einen Stein ins Wasser, bildet sich zunächst am Auftreffpunkt ein kraterförmiges Muster, das eine sehr genaue Bestimmung des Ortes der Störung erlaubt, eine genaue Bestimmung der Wellenlänge ist nicht möglich. Nach einiger Zeit ist der ursprüngliche Ort der Störung nicht mehr zu eruieren, es ist eine große stehende Welle mit vielen Wellenbergen und -tälern entstanden. Da durch Mittelung über viele Wellen die genaue Wellenlänge sehr gut zu bestimmen ist, sind über die Beziehung $p = h/\lambda$ exakte Angaben zum Impuls möglich.

³⁹ W. Kutzelnigg, „Was ist Chemische Bindung“, Angew. Chemie **85**, 1973, 551 – 594. W. Kutzelnigg, Einführung in die Theoretische Chemie, Band 2: Die chemische Bindung, Verl. Chemie, Weinheim 1978.

Bindungsenergie der entsprechenden Eielektronenbindung. Nun, die Paarbildung ist eben auch bei Elektronen mit gewissen Problemen behaftet.

Als irreführend sehe ich es an, wenn von mehreren „Arten der chemischen Bindung“ gesprochen wird. **Es gibt nur ein Phänomen der chemischen Bindung, dieses ist ein Interferenzphänomen.** Es gibt allerdings Grenzfälle. So ist die stark ionische Bindung als ein derartiger Grenzfall anzusehen. Die interferierenden Atomorbitale weisen unterschiedliche Energie auf. Es sei darauf hingewiesen (schon R. T. Sanderson machte auf diesen Sachverhalt aufmerksam), dass sich der Interferenzbeitrag zur chemischen Bindung vom Molekül Cl_2 über SCl_2 , PCl_3 , SiCl_4 , AlCl_3 , MgCl_2 zu NaCl nicht allzustark unterscheidet. Der Zuwachs an Bindungsenergie ist auf einen zusätzlichen elektrostatischen Effekt zurückzuführen; für festes NaCl , muss noch der zusätzliche Beitrag der Gitterenergie berücksichtigt werden.

Ein anderer Grenzfall der chemischen Bindung ist die metallische Bindung. Viel mehr sollten bei der Behandlung der Feststoffe quantentheoretische Überlegungen einfließen. Es würden dann so dumme Formulierungen wie: „Gold ist ein Metall“, oder „Wasserstoff ist ein Nichtmetall“, nicht mehr so häufig in Lehrbüchern anzutreffen sein. Es gibt Metalle oder Nichtmetalle nur in dem Sinn wie Feststoffe und Gase. Bestimmte Elemente sind unter bestimmten Bedingungen im metallischen Zustand anzutreffen, unter anderen Bedingungen in einem ganz anderen. Nehmen wir beispielsweise das elementare Gold. Im kolloidalen Zustand (Au_{55} -Cluster) hat elementares Gold keine Metallglanz, es ist rubinrot, es leitet auch nicht den elektrischen Strom. Beim Natrium wissen wir, dass mindestens 1500 Atome zusammentreten müssen, damit die kritische Anzahl für metallisches Natrium erreicht wird. Nun erst kann man näherungsweise von Energiebändern sprechen. Die Elektronen besetzen Orbitale, die durch kleine Energiestufen voneinander unterschieden sind.

So wie man heute den Begriff „Metall“ nicht mehr als Stoffeigenschaft schlechthin (im Aristotelischen Sinne) auffassen darf, ist auch jede andere Molekülform keine für alle Situationen umstößliche Grundeinheit der Materie. Wir begreifen **Moleküle als die der jeweiligen Bedingung angemessene Struktur der Materie.** Ändern sich die Bedingungen, wechselt die Struktur. Schließlich ist es die Fermionen-Eigenschaft der Elektronen, d. h. deren halbzahliger Spin, der zu den Eigenschaften führt, die wir von der Materie gewohnt sind.

Ein wichtiges Klassifikationsmerkmal der Materie stellt in diesem Zusammenhang ihre Farbe dar. Sie erlaubt eine grobe Abschätzung der Lokalisierbarkeit der Valenzelektronen. Gut lokalisierte Valenzelektronen führen in vielen Salzen dazu, dass sie farblos sind. Es kommt zu keiner Wechselwirkung mit dem Licht. Delokalisierte Elektronen bewirken Farbigkeit, man denke nur an die vielen Farbstoffe der organischen Chemie mit ihren delokalisierten π -Elektronensystemen. Sehr viele weitestgehend delokalisierte Valenzelektronen in einem sogenannten Energieband ergeben metallischen Glanz. In einem solchen Energieband sind die Energiezustände der Elektronen nur durch einen sehr geringen Betrag voneinander getrennt.

Unter Umständen kann aber alles ganz anders sein, wie Alfred Einstein und Satyendra Nath Bose (1894 – 1971) im Jahre 1925 vorhersagten. Wellenfunktionen von Atomen, sofern deren Gesamtspin ganzzahlig ist, können nach extremer Kühlung im niedrigst möglichen Energieniveau zu einem einzigen Quantengebilde verschmelzen. Wie bereits erwähnt wurde der Nobelpreis 2001 für die experimentelle Herstellung eines derartigen Bose-Einstein-Kondensats aus ca. 2000 Rubidiumatomen vergeben.

Kurz gefasst lautet die Schlussfolgerung: **Die Wechselwirkung von lauter gleichen Fermionen führt zu einer Spezies mit vielen unterschiedlichen Energien; die**

Überlagerung von Wellenfunktionen vieler Bosonen zu einem einzigen neuen Ding, einem ein Zehntel Millimeter großen Superatom, mit erstaunlichen Eigenschaften; so hat dieses Ding keine Teile mehr, vielmehr bewegt sich in ihm alles nur in einer Richtung...

Walter Thirring, Professor für Theoretische Physik an der Universität Wien, wies unlängst in einem Aufsatz darauf hin, dass die Materie, aus der wir, die Erde und die uns wärmende Sonne aufgebaut sind, genau dieser Eigenschaft der Elektronen als Fermionen ihre Stabilität verdankt. Bei Bosonen, die sich bekanntlich alle auf einem einzigen Energieniveau aufhalten können, würde bereits bei 10^{38} Teilchen ein Gravitationskollaps eintreten, was in etwa der Zahl von Protonen in einem größeren Berg entspricht.⁴⁰

Epilog

Der chassidische Rabbi Nachum von Tschernobyl (†1798) – es handelt sich dabei um eben jenes Tschernobyl in der Ukraine, in dem am 26. April 1986 um 1.23 h der Atomreaktor explodiert ist – lehrte Ende des 18. Jahrhunderts:⁴¹ „Die Gottheit erschuf den Stoff, damit der Mensch, der aus Stofflichem und Seelischem besteht, sich einen Begriff von ihr (der Gottheit) machen könne. Demzufolge darf jedweder Stoff als ein Gleichnis gelten, durch das man der Gottheit innewerden kann.“

⁴⁰ W. Thirring, „Stability of Matter“ in: W. Fleischhacker and T. Schönfeld (Eds.), Pioneering Ideas for the Physical and Chemical Sciences, Proceedings of the Josef Loschmidt Symposium, Vienna 1995, Prentice Hall, New York and London 1995, pp. 163 – 178.

⁴¹ P. Kobbe, Chassidische Weisheit, Knauer, München 1994.

Kants metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft

Ich fragte Bohr ... „Wenn die innere Struktur der Atome einer anschaulichen Beschreibung so wenig zugänglich ist, wie Sie sagen, wenn wir eigentlich keine Sprache besitzen, mit der wir über diese Struktur reden könnten, werden wir dann die Atome überhaupt jemals verstehen?“ Bohr zögerte einen Moment und sagte dann: „Doch. Aber wir werden dabei gleichzeitig erst lernen, was das Wort >verstehen< bedeutet.“

Gespräch zwischen Niels Bohr und Werner Heisenberg 1922
anlässlich einer Wanderung in der Umgebung Göttingens.
(W. Heisenberg, Der Teil und das Ganze)

Es waren zwei Philosophen, die mich auf die Bedeutung der Philosophie Kants für die heutige Naturwissenschaft hingewiesen haben. Prof. Alfred Locker sprach in seinen Vorlesungen oft von Kant. Er war es, der mir verständlich machte, dass Raum und Zeit in anderer Weise betrachtet werden können als in der Physik Newtons oder in der Relativitätstheorie Einsteins. Vieles verdanke ich dem Physikerphilosophen Carl Friedrich von Weizsäcker (*1912 in Kiel). Bereits in seinem 1971 erschienenem Buch „Die Einheit der Natur“ las ich ziemlich enthusiastisch die Aufsätze „Ein Weg zu Kant“ und „Was sind metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft“.

Weizsäcker hat das Thema immer wieder aufgegriffen, so in seinem *opus magnum* „Zeit und Wissen (1995) - und zwar im 11. Kapitel „Notizen zu Kant“ – und, meines Wissens zuletzt, in jenem Buch mit dem missglückten Titel „Große Physiker“ (1999).⁴²

Sie werden sich sicherlich fragen, was sucht die Philosophie Kants in einem Seminar zur Philosophie der Naturwissenschaft? Zunächst einige Hinweise aus der Biografie: Immanuel Kant (1727 – 1804) war seit 1770 Professor für Logik und Metaphysik in Königsberg. Kant zeigte seit seiner Jugend stark beeindruckt von der Physik Newtons. 1755 hatte er durch konsequente Anwendung der Newtonschen Mechanik eine Theorie der Entstehung astronomischer Systeme entwickelt, die sogenannte Kant-Laplace-Theorie. In den späten Siebzigerjahren des 18. Jahrhunderts befasst sich Kant – in einer Auseinandersetzung mit dem Empirismus David Humes⁴³ - intensiv mit der Frage, wie Erkenntnis überhaupt zustande kommt. 1781 erschien seine berühmte „Kritik der reinen Vernunft“.⁴⁴ 1786 entwirft er auf der Basis seiner „Kritik“ eine Theorie der Naturwissenschaften und schreibt das kryptische Werk

⁴² C. F. von Weizsäcker, „Immanuel Kant“ (1966) in: C. F. von Weizsäcker, „Grosse Physiker“, C. Hanser Verl., München, Wien 1999, p. 181 ff.; C. F. von Weizsäcker, „Kants Erste Analogie der Erfahrung und die Erhaltungssätze der Physik“, in: C. F. von Weizsäcker, Die Einheit der Natur, Hanser-Verl. München, 2. Aufl. 1971.

⁴³ David Hume (1711 – 1776) gilt neben J. Locke als wichtigster Vertreter des englischen Empirismus. Hume unterscheidet Wahrnehmungen (*impressions*) von Vorstellungen (*ideas*). Die Vorstellungen sind verblasste Abbilder unmittelbarer Wahrnehmungen. Allgemeine Ideen entstehen durch Assoziationen. Dies gilt sogar für das Kausalprinzip, das aus der gewohnheitsmäßigen Verknüpfung von bestimmten Ursachen (>Die Sonne scheint<) und bestimmten Wirkungen (>Der Stein erwärmt sich<) beruht. Die **Induktion**, also der Übergang von beobachteten Einzelfällen (>Dieser Schwan ist schwarz<) zu einer allgemeinen Aussage (>Alle Schwäne sind schwarz<), hat nach Hume lediglich eine gewohnheitsmäßige Rechtfertigung, keine logische. Damit stellte Hume das traditionelle Verständnis der Gesetze der Naturwissenschaft in Frage.

⁴⁴ Benutzte Ausgabe: I. Kant, Kritik der reinen Vernunft, Felix Meiner Verl., Hamburg 1976, außerdem: I. Kant, Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, Felix Meiner Verl., Hamburg, unveränderter Nachdruck 1969.

„Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft“.⁴⁵ Das Thema beschäftigt ihn noch kurz vor seinem Tod, es gibt im „Opus postumum“ einige Entwürfe zu einer weiteren derartigen Schrift.

Zu Kants Zeit verstand kaum jemand, was der Philosoph eigentlich meinte. Kant war seiner Zeit, wie man sagt, „voraus“. Heute, nach genau einem Jahrhunderts Quantentheorie, sieht die Sache anderes aus. Wir kommen auf Kant zurück, weil die Physik unserer Tage Fragen aufwirft, die Kant schon beschäftigten.

Nehmen wir das berühmte Doppelspaltexperiment. Beim Doppelspaltversuch fällt eine ebene Lichtwelle auf eine Platte mit zwei Spalten. Die Spalte wirken wie Quellen von kreisförmigen Wellen. Am Schirm entstehen Interferenzstreifen. Das Licht verhält sich wie eine Welle. Damit wissen wir zwar etwas über die Energie, können wir doch die Wellenlänge genau bestimmen. Wir wissen aber nicht, „welchen Weg das Photon gegangen ist“. Schließen wir einen der Spalte, so wissen wir zwar, welchen Weg das Photon gegangen ist, wir verlieren aber die Angabe über die Wellenlänge: das Interferenzmuster ist nämlich verschwunden. Wir haben das Photon gezwungen, die Wellennatur weitestgehend aufzugeben und zum Teilchen zu werden. Der Experimentator bestimmt die Natur des Objektes.

Dies fasste Niels Bohr in seinem Begriff der **Komplementarität** zusammen. Bohrs Komplementaritätsbegriff bedeutet, dass der Beobachter in den Erkenntnisvorgang eingebunden ist. Die Dinge an sich gibt es nicht. **Wir** sind es, die die Dinge zu Dingen machen. Das klingt nach Kant. In den „Prolegomena zu jeder künftigen Metaphysik“ sagt Kant (II. Teil § 38): „*Denn wir haben es nicht mit der Natur **der Dinge an sich selbst** zu tun, die ist sowohl von den Bedingungen unserer Sinnlichkeit als [auch] des Verstandes unabhängig, sondern mit der Natur als einem Gegenstand möglicher Erfahrung...*“ (Hervorhebung von Kant)

Kant fragt nach den **Bedingungen für Erfahrung**. Und eben dies ist auch unserer Frage.

Was unterscheidet die Naturwissenschaft von der Mathematik? In der Mathematik genügt die Vernunft. In der Naturwissenschaft kommen Objekte hinzu. Es wird komplexer, schwieriger. Kant sagt in der Vorrede zur Kritik der reinen Vernunft: Dort wo die Vernunft „*nicht bloß mit sich selbst, sondern auch mit Objekten zu schaffen hat,*“ ist es für sie „*weit schwerer, den sicheren Weg der Wissenschaft einzuschlagen*“ (B IX). Aber welcher ist der sichere Weg der Naturwissenschaft? Der sichere Weg der Wissenschaften hat nach Kant den strengsten möglichen Maßstäben zu genügen, sonst verdient er diesen Namen nicht. Es muss „Vernunft“ in der Wissenschaft anzutreffen sein „*Die Vernunft muss mit ihren Prinzipien, nach denen allein übereinkommende Erscheinungen für Gesetze gelten können, in der einen Hand, und mit dem Experiment, das sie nach jenen ausdachte, in der anderen, an die Natur gehen*“ (B XIII). Es sind demnach gewisse Prinzipien, die zu beachten sind. In den „Metaphysische(n) Anfangsgründe(n) der Naturwissenschaft“ gibt Kant die Kriterien an: „*Ich behaupte aber, daß in jeder besonderen Naturlehre nur soviel **eigentliche** Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin **Mathematik** anzutreffen ist.*“

Kant zeigt nun, dass die Physik – zum Unterschied zur Chemie - sehr wohl eigentliche Wissenschaft sein kann. Die Chemie, so wie sie Kant damals kannte, konnte keinesfalls dieses Kriterium erfüllen, unternahm doch die Chemie zu dieser Zeit erste hilflose Gehversuche einer Mathematisierung, man denke an die falschen arithmetischen Formeln Lavoisiers.

⁴⁵ Benutzte Ausgabe: I. Kant, Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft, neu herausgegeben mit einem Nachwort von A. Höfler, Verl. Pfeffer, Leipzig 1900.

Benjamin Richter, der in Königsberg studierte und der als Begründer der Stöchiometrie gilt, promovierte (von Kant inspiriert ?) 1789 mit einer Dissertation über den Gebrauch der Mathematik in der Chemie. Kant sagt zur Chemie: *„Wenn aber diese Gründe oder Principien in ihr, wie z.B. in der Chemie, doch blos empirisch sind, und die Gesetze, aus denen die gegebenen Facta durch die Vernunft erklärt werden, blose Erfahrungsgesetze sind, so führen sie kein Bewusstsein ihrer **Nothwendigkeit** bei sich ... , und alsdann verdient das Ganze in strengem Sinne nicht den Namen einer Wissenschaft, und Chemie sollte daher eher systematische Kunst, als Wissenschaft heissen.“* Beinahe prophetisch klingen Kants Worte in Bezug auf die Chemie in heutigen Ohren: *„So lange also noch für die chemischen Wirkungen der Materien auf einander kein Begriff aufgefunden wird, der sich konstruieren lässt, d.i. kein Gesetz der Annäherung oder Entfernung der Theile angeben lässt, nach welchem etwa in Proportion ihrer Dichtigkeit u. dgl. ihre Bewegungen sammt ihren Folgen im Raume a priori anschaulich machen und darstellen lassen (eine Folgerung, die schwerlich jemals erfüllt werden wird), so kann die Chemie nichts mehr, als systematische Kunst oder Experimentallehre, niemals aber eigentliche Wissenschaft werden, weil die Prinzipien derselben blos empirisch sind und keine Darstellung a priori in der Anschauung erlauben, folglich die Grundsätze chemischer Erscheinungen ihrer Möglichkeit nach nicht im mindesten begreiflich machen, weil sie der Anschauung der Mathematik unfähig sind.“*

Nach diesem Exkurs über die Chemie nun zur „eigentlichen Wissenschaft“ zur Zeiten Kants, zur Physik. (Heute dürften wir getrost auch große Teile der Chemie in den Bereich der „eigentlichen Wissenschaft“ hinein reklamieren.) In den „Metaphysischen Anfangsgründen“ führt Kant das **Quantum der Materie** als die eigentliche Darstellung der Substanz in die reine Physik ein. An diesem Verständnis der **Substanz als Quantum** hängt die Anwendbarkeit der Mathematik in der Naturwissenschaft. Der Begriff der Materie ist demnach der Fundamentalbegriff der eigentlichen Naturwissenschaft. Jeder Mensch aber weiß, dass die Naturwissenschaft eine empirische Wissenschaft, also eine Erfahrungswissenschaft ist. In der „Kritik der reinen Vernunft“ und später noch einmal in den „Prolegomena“ untersuchte Kant die Bedingungen möglicher Erfahrung. Kant stellt klar, dass jede Naturwissenschaft nicht nur empirisches Material enthält, sondern noch etwas anderes. Erfahrung – sagt Kant (Prolegomena II. Teil, §21a) – besteht aus Anschauungen, die der Sinnlichkeit gehören, und aus Urteilen, die lediglich ein Geschäft des Verstandes sind. Die Sinne liefern die Anschauung, der Verstand aber denkt. Denken aber ist: Vorstellungen **in einem Bewusstsein** vereinigen. Erfahrung besteht in der synthetischen Verknüpfung der Erscheinungen (Wahrnehmungen) in einem Bewusstsein. Originalton der Einleitung zur „Kritik der reinen Vernunft“ (Ausgabe B18): *„Naturwissenschaft (Physika) enthält synthetische Urteile a priori als Prinzipien in sich.“*

Nehmen wir den Erhaltungssatz. Kant formulierte bereits in der „Kritik der reinen Vernunft“ (B 224): *„Bei allem Wechsel der Erscheinungen beharrt die Substanz, und das Quantum derselben wird in der Natur weder vermehrt noch vermindert.“* Diese Formulierung entspricht dem Erhaltungssatz der Energie/Masse der heutigen Physik. An diesem Beispiel kann man zeigen – so Weizsäcker – dass dem empirisch gefundenen Erhaltungssatz Grundsätze des reinen Verstandes zugrunde liegen. Weizsäcker untersuchte diese Frage schon 1964 in einer Festschrift unter dem Titel *„Kants 'Erste Analogie der Erfahrung' und die Erhaltungssätze der Physik“*. Hier macht er aufmerksam, dass Emmy Noether zeigen konnte, dass der Invarianz der Naturgesetze (sofern diese durch Variationsprinzipien ausdrückbar sind) gegen über einer Transformationsgruppe so viele Erhaltungssätze entsprechen, als diese Gruppe unabhängige Parameter hat. Insbesondere der Energiesatz entspricht einer Verschiebung des Zeitnullpunktes und damit ist die **Homogenität der Zeit** im Spiel. Die Physiker, so Weizsäcker, finden den Grund des Energiesatzes in der Homogenität der Zeit. Sie folgen damit

Kant. Denn Kant schrieb im Beweis obiges Satzes: „*Alle Erscheinungen sind in der Zeit, in welcher, als Substrat, (als beharrliche Form der inneren Anschauung) das Zugleichsein sowohl als die Folge allein vorgestellt werden. Die Zeit also, in der aller Wechsel der Erscheinungen gedacht werden soll, bleibt und wechselt nicht; weil sie dasjenige ist, in welchem das Nacheinander- und Zugleichsein nur als Bestimmungen derselben vorgestellt werden können....*“

Diese Übereinstimmung von Physik und Metaphysik Kants empfinde ich spannend. Es sieht ganz danach aus, als könnte uns die Philosophie Kants helfen, unserer heutige Physik zu verstehen.

Ich möchte nun keine langen Kommentare zu den Erhaltungssätzen der Physik abgeben. Ich möchte nur daran erinnern, dass der in Brünn geborene Physiker Arthur Erich Haas (1884 – 1941) zum Energieerhaltungssatz auf einer Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Köln 1908 erklärt hat: „*Aus drei Motiven, die zu allen Zeiten die mächtigsten Triebfedern wissenschaftlicher Forschung darstellten, sind auch die Ideen hervorgegangen, die im obersten Prinzip der modernen Physik, im Satze von der Erhaltung der Energie, vereinigt erscheinen. Das Bleibende im Wechsel der Erscheinungen, das Unveränderliche inmitten aller Veränderungen aufzufinden, war seit den ältesten Zeiten ein grundlegendes Problem der Naturphilosophie; das ganze menschliche Denken aber ist durch das Bestreben charakterisiert, die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, die sich unserer Wahrnehmung darbieten, in einem möglichst engen Zusammenhang zu bringen und derart die Einheit unserer Innenwelt gleichsam in die Außenwelt zu projizieren.*“

Blättern wir in der „Kritik der reinen Vernunft“ Kants ein paar Seiten zurück:

Hier interessiert mich ein Satz aus der ersten Auflage A 124: „*Denn das stehende und bleibende Ich (der reinen Apperzeption) macht das Korrelatum aller unserer Vorstellungen aus, sofern es bloß möglich ist, sich ihrer bewußt zu werden, und alles Bewußtsein gehört ebensowohl zu einer allbefassenden reinen Apperzeption, wie alle sinnliche Anschauung als Vorstellung zu einer inneren Anschauung, nämlich der Zeit.*“ Das stehende und bleibende Ich wird uns als Korreat (d.h. Bezugspunkt) der Apperzeption (der Wahrnehmung) vorgeführt. Irgendwie scheint das Subjekt aus dem Erkenntnisvorgang nicht herauszunehmen zu sein. Wir kennen das Problem aus der Quantentheorie. Was aber soll die Zeit mit dem Ich zu tun haben? Nach Kant ist die Zeit **eine Form der Anschauung**, sie ist nicht etwas, was für sich selbst bestünde (wie Newton meinte), sie ist nichts, was als objektive Bestimmung den Dingen anhänge und übrig bliebe, wenn man von allen subjektiven Bedingungen der Anschauung abstrahiert. „*Die Zeit ist nicht anderes als die Form des inneren Sinnes, d.i. des Anschauens unserer selbst und unseres inneren Zustandes*“. (A 33) „*Die Zeit ist die formale Bedingung a priori aller Erscheinungen überhaupt.*“ (A 34)

Entsprechendes gilt für den Raum. Nach Kant ist auch der Raum kein empirischer Begriff, der von äußeren Erfahrungen abgezogen werden kann. „*Denn damit gewisse Empfindungen auf etwas außer mich bezogen werden..., dazu muß die Vorstellung des Raumes schon zu Grunde liegen.*“ (A 23) „*Der Raum ist eine notwendige Vorstellung a priori, die allen äußeren Anschauungen zu Grunde liegt*“. (A 24) **Der Raum ist als die Bedingung der Möglichkeit der Erscheinungen anzusehen.**

Was alles kann im Raum erscheinen? Die Antwort ist banal: alles mögliche. Welche Möglichkeiten Objekte im Raum haben, sagt uns heute die Quantentheorie. So liefert uns die Schrödingergleichung Lösungen für Wellenfunktionen. Es sind Gleichungen stehender Wellen im

Raum. Nehmen wir ein Wasserstoffatom an. Ein Punkt im Raum ist fixiert das Quadrat der Wellenfunktion Ψ gibt die Wahrscheinlichkeit an, ein Elektron in einem Raumelement anzu-treffen. Im Grunde aber geht es nicht nur um Elektronen. Die Form der Gleichung analysiert Grundsätzlicheres: die Möglichkeiten für alle stehende Wellen im Raum, oder anders formu-liert, die Möglichkeiten des Raumes.

In den „Metaphysische(n) Anfangsgründe(n)“ definiert Kant die **Materie als das Bewegliche im Raume**. Der Raum - so Kant gleich anschließend -, der selbst beweglich ist, heisst der ... relative Raum; der, in welchem alle Bewegung zuletzt gedacht werden muss (der schlechterdings unbeweglich ist), heisst der reine oder auch absolute Raum. In der An-merkung 2 zur ersten Erklärung sagt Kant: „Also ist alle Bewegung, die ein Gegenstand der Erfahrung ist, blos relativ.“

Wilhelm K. Essler schreibt (in Kindlers Literaturlexikon) über die Raumtheorie Kants in den „Metaphysische(n) Anfangsgründe(n)“: „Kant kommt zum Schluß, daß (a) die gleichförmige Bewegung nur eine Relativbewegung ist, d.h. nur eine Bewegung relativ zu anderen Körpern, nicht jedoch eine absolute Bewegung zum Raum, daß jedoch (b) die Kreisbewegung (als ein Beispiel einer beschleunigten Bewegung) als eine absolute Bewegung des Körpers zum Raum zu verstehen ist. Er würde also Einsteins spezielle Relativitätstheorie billigen, dessen allge-meine Relativitätstheorie hingegen verwerfen. Nach Kant sind Raum und Zeit keine selb-ständigen Entitäten, wie bei Newton, sondern Ordnungsrelationen zwischen Wahrnehmungs-gegenständen. Hätte er diesen Ansatz in allen Details logisch-mathematisch analysiert, so wäre er ohne Zweifel der Entdecker der speziellen wie der allgemeinen Relativitätstheorie gewesen. So aber hat er sich teilweise in Widersprüche verwickelt, da er Newtons Argument für den absoluten Raum (das sogenannte Eimer-Experiment, das zeigen soll, daß die Kreis-bewegung eine absolute Bewegung ist) als unwiderlegbar ansah und es in seinem System daher trotz Leugnung der Raumlehre Newtons ebenfalls darstellen wollte. Eine völlige Verwerfung dieser Raumlehre ist erst Einstein durch seine allgemeine Relativitätstheorie gelungen, der darin auch die Kreisbewegung als Relativbewegung deuten konnte.“ Diese Meinung ist nach einer differenzierteren Analyse zu berichtigen. Wir müssen genau darauf achten, was Kant sagt: „Die Kreisbewegung, weil sie nach dem zweiten Lehrsatz auch ohne Beziehung auf den empirisch-gegebenen Raum als wirkliche Bewegung in der Erfahrung gegeben werden kann, **scheint** doch in der That absolute Bewegung zu sein.“ (gesperrt: Kant) Die Betonung liegt hier auf scheint. Wenn etwas nur zu sein scheint, muss es nicht unbedingt auch so sein. Drei Seiten weiter erkennt Kant, dass die Kreisbewegung mit dem Bewegungszustand des Weltganzen (der entfernten Massen Einsteins) etwas zu tun hat: „Absolute Bewegung würde also nur diejenige sein, die einem Körper ohne ein Verhältnis auf irgend eine andere Materie zukäme. Eine solche wäre allein die geradlinige Bewegung des Weltganzen, d.i. des Systems der Materie. Denn wenn ausser einer Materie noch irgend eine andere, selbst durch den leeren Raum getrennte Materie wäre, so würde die Bewegung schon relativ sein.“ Kant spricht in der Folge vom „Antagonismus in aller Gemein-schaft der Materie durch Bewegung“, womit er in meinem Verständnis einen wesentlichen Gedanken Einsteins vorwegnimmt.

Bewegung erfolgt durch Kräfte. Gemäß Lehrsatz 8 der „Metaphysischen Anfangsgründe“ gibt es nur zwei Grundkräfte: die Repulsion und die Attraktion:⁴⁶ „Die ursprüngliche

⁴⁶ 1758 erschien in Wien das bahnbrechende Werk „Philosophiae naturalis theoria“ des Jesuiten Ruder Josip Bošćović. Die Atome sind nach Bošćović punktförmige Entitäten, von denen in der Nähe abstoßende in der Weite anziehende Kräfte ausgehen. Hat Kant dieses Werk gelesen? Wurde der Einfluss Bošćovićs auf die Lehre Kants von den abstoßenden und anziehenden Kräften der Materie jemals untersucht? 1755 veröffentlichte Bošćović ein Büchlein mit dem Titel „Über Raum und Zeit“, in dem erste Ansätze enthalten sind, die dem Menschen im Erkenntnisprozess die Funktion einer Art Schnittstelle zuweisen: Bewußtsein und Materie sind eng

Anziehungskraft, worauf selbst die Möglichkeit der Materie, als einer solchen beruht, erstreckt sich im Weltraume von jedem Theile derselben auf jeden anderen unmittelbar ins Unendliche.“ Im Zusatz 2 ergänzt Kant: *„Da alle gegebene Materie mit einem bestimmten Grade der repulsiven Kraft ihren Raum erfüllen muss, um ein bestimmtes materielles Ding auszumachen, so kann nur eine ursprüngliche Anziehung im Conflict mit der ursprünglichen Zurückstossung einen bestimmten Grad der Erfüllung des Raumes, mithin Materie möglich machen.*“ Die Anziehung, sagt Kant, ist der Quantität der Materie proportional und erstreckt sich ins Unendliche. Kant dachte natürlich an das Gravitationsgesetz.

Wie sieht die Sache aus, wenn wir an die die Kräfteverhältnisse in einem Atom denken, das aus einem positiv geladenen Kern und negativen Elektronen besteht? Auch hier gild das oben Gesagte, wenn wir unter der „Quantität“ die Ladung verstehen wollen. Die Anziehung, so Kant, nimmt ab mit r^2 . Die Repulsion aber nimmt zu mit r^3 , sagt Kant. Näherungsweise ist die Sache für das Wasserstoffatom so richtig. Die repulsive Kraft nimmt (in Kernnähe) mit r^3 zu, die attraktive (in großer Entfernung) mit r^2 ab.

Den Raum stellte sich Kant – wohl in Anknüpfung an Bošcović, den Kant mit keiner Silbe erwähnt – erfüllt von Kräften vor, so dass er richtigerweise feststellen muss: **Es gibt gar keinen leeren Raum.** Kant geht so weit, dass er schließlich in einer „Allgemeine(n) Anmerkung zur Dynamik“ bekennt: *„Der Begriff der Materie wird auf lauter bewegliche Kräfte zurückgeführt“.*

Im II. Hauptstück der „Metaphysischen Anfangsgründe“ kommt Kant auch auf chemische Spezies und Vorgänge zu sprechen. Interessant ist seine Vorstellung von Wasserteilchen in einem Wassertropfen, die Kräften nach allen Raumrichtungen ausgesetzt sind: *„Man betrachte einen Tropfen Wasser. Wenn ein Theilchen innerhalb demselben durch eine noch so grosse Attraction der Nebentheile, die es berühren, nach der einen Seite gezogen wird, so wird ebendasselbe doch auch gerade ebenso viel nach der entgegengesetzten gezogen, und da die Attractionen beiderseitig ihre Wirkungen aufheben, ist das Partikelchen ebenso leicht beweglich, als ob es im leeren Raume sich befände; nämlich die Kraft, die es bewegen soll, hat keinen Zusammenhang zu überwinden, sondern nur die sogenannte Trägheit, die sie bei aller Materie, wenn sie gleich gar nicht womit zusammenhinge, überwinden müsste.“* Nach einer Bemerkung über die Kugelgestalt des Wassertropfens, der sich aus einem Minimalprinzip gegenüber der Wechselwirkung eines zusammenhängenden Körpers mit dem leeren Raum ergibt, sagt Kant zusammenfassend: *„Wasser hängt in seinen Theilen weit stärker zusammen, als man gemeiniglich glaubt...“*

In der 4. Anmerkung zur Dynamik definiert Kant: *„Die Wirkung bewegter Körper auf einander durch Mittheilung ihrer Bewegung heisst **mechanisch**; die der Materien aber, sofern sie auch in Ruhe durch eigene Kräfte wechselseitig die Verbindung ihrer Theile verändern, heisst **chemisch**.*“ Kant interessierte sich insbesondere für den Vorgang des AuflöSENS eines Feststoffes in einer Säure. Das Auflösen fasst er als eine „Trennung der Theile einer Materie auf“, wobei wir ihm sicherlich zustimmen können. Er nennt eine absolute Auflösung eine „Durchdringung“. Er lässt die Frage offen, ob eine solche vollständige Auflösung in der Natur vorkommt. Ihn beschäftigt, ob man eine solche denken könne. Er gelangt zur Auffassung, dass dabei die repulsive Kraft der einen Materie auf die der andern nicht zu berücksichtigen sei, weil eine derartige nur bei mechanischen Wirkungen zum Zug käme. Bei chemischen Durchdringungen kommt es zu einer *Intussusception*. Die Summe der Dichtigkeiten nehmen nun einen gemeinsamen Raum ein. Gewisse Schwierigkeiten macht

miteinander verschränkt. Es wäre dringend notwendig zu untersuchen, welchen Einfluss dieses Werk auf Kant hatte.

nur die Vorstellung einer dabei notwendigen „*Theilung ins Unendliche*“, die aber nach Kant wenigstens denkbar ist, wenn sie auch in der Natur vielleicht gar nicht vorkommt. Schließlich meint Kant zum Problem der Teilbarkeit der Atome: „*Ein Atom ist der kleinste Theil der Materie, der physisch untheilbar ist. Physisch u n t h e i l b a r ist eine Materie, deren Theile mit einer Kraft zusammenhängen, die durch keine in der Natur befindliche bewegende Kraft überwältigt werden kann.*“

Wenn es nun um die Frage der Teilbarkeit der Materie geht, ist ein Hinweis auf die berühmte Antinomienlehre in der „Kritik der reinen Vernunft“ angebracht. Die Frage der Teilbarkeit gehört nach Kant zu den „Antinomien“. Einleitend bemerkt er dazu: „*Hier zeigt sich ... ein neues Phänomen der menschlichen Vernunft, nämlich: eine ganz natürliche Antithetik, auf die keiner zu grübeln und künstlich Schlingen zu legen braucht, sondern in welche die Vernunft selbst gerät ... und ... in Versuchung gebracht wird, sich entweder einer skeptischen Hoffnungslosigkeit zu überlassen, oder einen dogmatischen Trotz anzunehmen und den Kopf steif auf gewisse Behauptungen zu setzen, ohne den Gründen des Gegenteils Gehör und Gerechtigkeit widerfahren zu lassen. Beides ist der Tod einer gesunden Philosophie...*“

Die erste Antinomie:

These: *Die Welt hat einen Anfang in der Zeit und ein Ende. Es gibt auch keine räumlichen Grenzen.*

Antithese: *Die Welt hat keinen Anfang und keine Grenzen, weder räumlich noch zeitlich. Für beide Standpunkte können unschlagbare Argumente gefunden werden.*

Ich verfolge Kants Argumentation hier nicht weiter, sondern verweise auf das gelegentlich geschmähte, für meinen Geschmack doch nicht schlechte Buch „Eine kurze Geschichte der Zeit“ von Stephen W..⁴⁷ Kurz zusammengefasst ist die Schlussfolgerung: Einen Urknall, den es gegeben hat, gab es nicht. Es dürfen die Gravitationseffekte der Quantenmechanik nicht außer acht gelassen werden, wenn ein Gravitationsfeld extrem stark wird. Es ist also überaus voreilig zu sagen, dass die Zeit mit dem Urknall vor ca. 20 Milliarden Jahren begonnen hat. Hawking: „*In der klassischen Gravitationstheorie, die auf realer Raumzeit beruht, gibt es für das Verhalten des Universums nur zwei Möglichkeiten: Entweder es existiert seit unendlicher Zeit oder es hat zu einem bestimmten Zeitpunkt der Vergangenheit mit einer Singularität begonnen. In der Quantentheorie der Gravitation ergibt sich dagegen noch eine dritte Möglichkeit. ... Die Raumzeit ist dann wie die Oberfläche der Erde, nur dass sie zwei Dimensionen mehr aufweist. Die Erdoberfläche ist endlich in der Ausdehnung, besitzt aber keine Grenze und keinen Rand: Wer in den Sonnenuntergang hineinsegelt, fällt von keinem Rand und trifft keine Singularität.*“ (p. 173) Und an einer anderen Stelle: „*In der realen Zeit hat das Universum einen Anfang und ein Ende an Singularitäten, die für die Raumzeit eine Grenze bilden und an denen die Naturgesetze ihre Gültigkeit verlieren. In der imaginären Zeit dagegen gibt es keine Singularitäten oder Grenzen. So ist möglicherweise das, was wir imaginäre Zeit nennen, von viel grundlegenderer Bedeutung und das, was wir real nennen, lediglich ein Begriff, den wir erfinden... Eine wissenschaftliche Theorie ist nicht mehr als ein mathematisches Modell... Es existiert nur in unserem Kopf. Deshalb ist es sinnlos zu fragen: Was ist wirklich, die „reale“ oder die „imaginäre“ Zeit.*“ (p. 177)

Die zweite Antinomie:

These: *Jede zusammengesetzte Substanz besteht aus einfachen Teilen.*

Antithese: *Kein zusammengesetztes Ding in der Welt besteht aus einfachen Teilen, und existiert überall nichts einfaches in derselben.*

⁴⁷ St. W. Hawking, Eine kurze Geschichte der Zeit, Rowohl, Hamburg 1989.

Gibt es ein schöneres Beispiel für diese Antinomie als die Kompositionsgesetz der Quantentheorie? Seien A und B zwei Objekte und C das aus A und B zusammengesetzte Objekt, so ist der Zustandsraum H_C von C das tensorielle Produkt der Zustandsräume von A und B:

$$H_C = H_A \times H_B$$

In H_C ist die Menge derjenigen Zustände von C, in denen zugleich A und B einen scharfen Zustand haben eine Menge vom Maß null. (Dies ist die mathematische Formulierung der alten Weisheit: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.) Wir müssen Abschied nehmen von Formulierungen, wie: „Moleküle bestehen aus Atomen“ oder – hier ist es eher noch evident – „Protonen bestehen aus Quarks“ usw. Das sind alles sehr ungewisse Aussagen, nur unbeholfene erste Näherungen. Im Falle der Moleküle wäre es schon besser zu sagen, sie beständen aus Atomkernen und Elektronen. Aber auch das ist nur eine Näherung...

Die Antinomienlehre Kants war ein genialer Schachzug. Kant hatte aber nicht die Größe, die Antinomien einfach stehen zu lassen. Er wollte sie auflösen. Warum? Ich weiß es nicht.

Weizsäcker betonte (GP 199), dass es keinesfalls notwendig ist, Kant in allen seinen Ideen zu folgen, ja es ist wesentlich vernünftiger, sich in den Einzelheiten völlig zu distanzieren. Wir können Kant nicht überallhin folgen, selbst wenn wir in der Lage wären, intellektuell alle Argumente zu beherzigen. (Die meisten scheitern schon beim Lesen.) Weizsäcker meint übrigens, dass sich bei näherer Analyse die Argumentation insbesondere in den „Metaphysischen Anfangsgründe“ als brüchig erweist. Einzelne Gedanken sind bewundernswert, verpflichten deswegen aber noch nicht zur Gefolgschaft.

Die „Metaphysischen Anfangsgründe“ sind in der Geschichte der Physik völlig wirkungslos geblieben. Die Ursache dafür liegt aber keinesfalls in irgendwelchen Details begründet. Vielmehr war der Grundgedanke der „Metaphysischen Anfangsgründe“ der Physik des 18. Jahrhunderts um rund 200 Jahre voraus. Kant ahnte etwas, was in seiner Zeit an keinem einzigen Beispiel wirklich gut zu zeigen war. Die damalige Naturwissenschaft konnte hier nichts amplifizieren.

Die heutige Physik unterscheidet sich grundlegend von der Physik des 18. und 19. Jahrhunderts. Heutige Physik hat ein extrem hochgestecktes Ziel: die Vereinheitlichung. Und die Physik ist schon erstaunlich weit gekommen. Immerhin konnte auf diesem Weg die Chemie mit ins Boot genommen werden. Die Quantentheorie hat sich als allgemeine Theorie für beliebige Objekte empirisch bewährt. Sie schaffte, was die klassische Mechanik zu schaffen hoffte. Und sie schaffte es für den atomaren Bereich. Weizsäcker meint, dass die Theorie der Elementarteilchen gestatten wird zu deduzieren, welche Objekte es überhaupt in der Natur geben kann. Und wir müssen aus dieser Theorie heraus auch verstehen, warum es möglich ist, alles mit einer **einheitlichen** Theorie zu verstehen. Ein geringeres Ziel – so Weizsäcker – ist sinnlos. Letztlich ist es ja nur möglich das **Einfache** zu verstehen. Wenn etwas in der Physik philosophisch verstanden werden kann, dann das, was ihr Einheit gibt.

Was machte Weizsäcker so sicher, dass der Aufbau der ganzen Physik (inklusive der Chemie) aus einem Prinzip gelingen könne? Weizsäcker glaubt, dass in der Quantentheorie der Elementarteilchen eine Grenze fällt – oder schon gefallen ist -, die Kant so intensiv beschäftigte: die Grenze zwischen Grundgesetzen, die er a priori, rein aus dem Verstand heraus für erkennbar hielt und speziellen Gesetzen, die man nur aus der Erfahrung lernen kann. Die künftige Quantentheorie der Elementarteilchen wäre schon eine einmalige Konstruktion: historisch erwachsen aus der Empirie sollte sie dennoch aus wenigen

Grundsätzen ableitbar sein. In Kantscher Diktion sollten diese Grundsätze **transzendente Sätze** sein, d.h. diese Sätze sollten die Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung formulieren.

Zum Abschluss möchte ich an einem wunderbaren Beispiel das Gesagte verdeutlichen. Kants „Dritte Analogie der Erfahrung“, die dem dritten Modus der Zeit, nämlich dem **Zugleichsein** gewidmet ist,⁴⁸ lautet: „*Alle Substanzen, sofern sie im Raume als zugleich wahrgenommen werden können, sind in durchgängiger Wechselwirkung.*“ Wie drückt die Quantentheorie diesen Sachverhalt aus: Es gibt in Wahrheit keine isolierten Objekte. Isolierte Objekte sind nur als Näherungen zu betrachten.⁴⁹

Nach Kant ist die Dritte Analogie eine Denknöwendigkeit. Die drei Analogien der Erfahrung sind nichts anderes – so Kant – als „*Grundsätze der Bestimmung des Daseins der Erscheinungen in der Zeit... (Es sind) die Regeln des Verstandes, durch welche allein das Dasein der Erscheinungen ... Einheit bekommen kann...*“ Die Quantentheorie kam 150 Jahre später zu ähnlichen Schlüssen. Mich erinnert das Ganze an eine Geschichte, die man sich im Himalaya erzählt: Ein Yogi schaffte es, allein durch die Macht des Bewußtseins in der Meditation, sich auf einen hohen Gipfel zu „beamen“. Eben kommen Bergsteiger völlig erschöpft auch am Gipfel an. Der Yogi begrüßt sie und fragt erstaunt: „Seid ihr wirklich zu Fuß diese gefährliche und lange Strecke heraufgekommen?“ Die Ochsentour hat sicherlich die Quantentheorie hinter sich. Aber ich vermute, dass auch die andere Methode nicht ganz so simpel ist, wie sie scheint.

Der Schluss der „Metaphysischen Anfangsgründe der Naturwissenschaft“ ist einer „Phänomenologie“ gewidmet. Es geht um die Frage, inwiefern die Materie als das „Bewegliche“ ein Gegenstand der Erfahrung sein kann. Bewegung erfolgt im Raum. Alle Betrachtungen von Materie enden daher in einer Überlegung bezüglich des Raumes, des leeren Raumes, jenes leeren Raumes, der die Körper voneinander absondert (*vacuum coacervatum*). Dieser leere Raum ist jedoch ein „*schwer aufzuschließendes Naturgeheimnis*“. Der abschließende Absatz erinnert an Texte östlicher Weisheit, so beispielsweise an das „Geheimnis der Goldenen Blüte“, wo es heißt:

...Die Leere wird durchleuchtet vom Schein des Herzens des Himmels...
Bewußtsein löst sich in Schauen auf.

⁴⁸ Die drei *modi* der Zeit sind: Beharrlichkeit (siehe Erhaltungssätze der Physik), Folge (Kausalität) und **Zugleichsein**.

⁴⁹ Alle Objekte, die miteinander wechselwirkten, müssen als **ein Objekt** gesehen werden. Durchquert beispielsweise Laserlicht einer bestimmten Wellenlänge einen Kristall, der als parametrischer Konverter dient und Paare korrelierter Photonen erzeugt, fliegen die beiden Photonen in unterschiedlichen Richtungen auseinander. Den Gesetzen der Quantentheorie zufolge sind die Polarisationsrichtungen dieser Zwillingphotonen unbestimmt. Das bedeutet: Erst im Augenblick der Messung „entscheidet“ sich das Licht für eine bestimmte Polarisationsrichtung. Aufgrund eines Erhaltungssatzes muss die Polarisationsrichtung des zweiten Photons senkrecht zu ersten stehen. Dies hat die merkwürdige Konsequenz, dass im gleichen Augenblick, da die Polarisationsrichtung des einen Photons gemessen wird, die des zweiten feststeht. Albert Einstein und seine Mitarbeiter Boris Podolsky und Nathan Rosen sahen 1935 darin einen Widerspruch zur Relativitätstheorie (EPR-Argument). Schrödinger prägte dafür den Begriff „Verschränkung“. 1982 gelang es einer Gruppe von Physikern um Nicolas Gisin von der Universität Genf die Fernwirkung über eine Entfernung von 10 km nachzuweisen. Das Zwillingpaar wurde so aufgeteilt, dass ein Photon die Strecke zwischen Genf und Bellevue durchlief, während das andere sich auf den Weg nach Bernex machte. Am Ende der Rennstrecke durchlief jedes der Photonen einen Messapparat. Das Ergebnis entsprach den Vorhersagen, beide Photonen sind „verschränkt“, sind in Wahrheit als ein unteilbares System aufzufassen. Einer Gruppe um Anton Zeilinger in Wien gelang es vor kurzem vier Lichtteilchen miteinander zu verschränken. Analog wie Photonen verhalten sich Atome oder Moleküle. Zeilinger gelang bereits 1997 die erste „Teleportation“ eines Photons, wobei dieser Effekt der Übertragung von Quantenzuständen auf der „Verschränkung“ beruht. Raymond Laflamme in Los Alamos teleportierte als erster den Zustand eines Atoms auf ein anderes.

Nun Kant: „Und so endigt sich die metaphysische Körperlehre mit dem *L e e r e n* und eben darum Unbegreiflichen, worin sie einerlei Schicksal mit allen übrigen Versuchen der Vernunft hat, wenn sie im Zurückgehen zu Prinzipien den ersten Gründen der Dinge nachstrebt, da, weil es ihre Natur so mit sich bringt, niemals etwas Anderes, als sofern es unter gegebenen Bedingungen bestimmt ist, zu begreifen, folglich sie weder beim Bedingten stehen bleiben, noch sich das Unbedingte fasslich machen kann, ihr, wenn Wissbegierde sie auffordert, das absolute Ganze aller Bedingungen zu fassen, nichts übrig bleibt, als von den Gegenständen auf sich selbst zurückzukehren, um anstatt der letzten Grenze der Dinge die letzte Grenze ihres eigenen sich selbst überlassenen Vermögens zu erforschen und zu bestimmen.“

Platonische Körper und archetypische Konzepte in heutiger Chemie

An Paracelsus und Böhme hat sich die Alchemie gespalten in die Naturwissenschaften einerseits und die christlich-proreantistische Mystik andererseits. Ihr Stein ist wieder, was er gewesen: „vilis vilissimus“, billig am billigsten, „in via eiectus“, auf die Straße geworfen...

C. G. Jung

Neoplatonistische Molekülgeometrie

Als 1972 der britische Chemiker Ronald James Gillespie (*1924) sein bekanntes Werk „Molecular Geometry“ (deutsche Ausgabe 1975 „Molekülgeometrie“) publizierte,⁵⁰ konnte er nicht umhin, darauf hinzuweisen, dass schon die griechischen Philosophen die Bedeutung der regelmäßigen Polyeder erkannt hatte. Er berichtet, dass ein pentagonaler Dodekaeder in einem etruskischen Grab entdeckt wurde.

Lassen wir Plato selber zu Wort kommen, war er doch der erste, der den fundamentalen Zusammenhang von Substanz und Symmetrie erfasst hat:

„Jetzt aber wollen wir die unserer Rede zufolge entstandenen Gattungen in Feuer, Erde, Wasser und Luft teilen. Der Erde wollen wir die Würfelgestalt zuweisen, denn die Erde ist von den vier Gattungen die unbeweglichste und unter den Körpern die bildsamste; ...dem Wasser dagegen die unter den übrigen am mindesten bewegliche Gattung [den Ikosaeder], die beweglichste dem Feuer [den Tetraeder], die dazwischenliegende der Luft [den Oktaeder];... Das alles aber müssen wir so klein denken, dass jedes Einzelne jeder Gattung seiner Kleinheit wegen von uns nicht gesehen wird, sondern dass wir nur die Massen vieler zusammengehäufter erblickten; und auch so, dass Gott allerwärts die Verhältnisse der Mengen, der Bewegungen und übrigen Kräfte ... auf das genaueste ordnete und zu verhältnismäßiger Übereinstimmung führte. (21) Da aber noch eine, die fünfte Zusammenfügung [der Pentagondodekaeder] übrig war, so benutzte Gott diese für das Weltganze...“ (Platon, Timaios 21 u. 20)

Abb. 5. Die Platonschen Körper

Gillespies VSEPR-Theorie ist ein sehr leistungsfähiger Regelsatz zur Bestimmung der Bindungswinkel in Molekülen. Ausgangspunkt ist eine korrekte Valenzstrichformel. Der Grundgedanke: eine Abstoßung der Elektronenpaare in der Valenzschale.

Ursprünglich wurde der von Nyholm und Gillespie formulierte Regelsatz belächelt und mit der Bemerkung „höchstens für eine Anfängervorlesung geeignet“ abqualifiziert. Vor einiger Zeit ist es aber gelungen, die tieferen Zusammenhänge der Theorie mit den quantenphysikalischen Gesetzen aufzudecken. Es stellte sich heraus, dass es unter bestimmten Bedingungen (den Hundschen Lokalisierungsbedingungen) möglich ist, die kanonischen Molekülorbitale in lokalisierte Molekülorbitale (IMOs) umzurechnen. Übliche Valenzstrichformeln stellen Näherungen nullter Ordnung für derartige lokalisierte Molekülorbitale dar.

Jedes Atom wird als Zentrum eines Polyeders angesehen; die Geometrie dieses Körpers wird nun einzig und allein von der Zahl und Art der Elektronenpaare in der Valenzschale bestimmt,

⁵⁰ R. J. Gillespie, Molekülgeometrie. Elektronenpaarabstoßung und molekulare Struktur, Verl. Chemie, Weinheim 1975.

an denen dieses Atom Anteil hat. Elektronenpaare, die in Einfachbindungen (im Sinne von σ -Bildungen) involviert sind, zählen - so wie nichtbindenden Elektronenpaare - einfach, wobei letztere einen etwas höheren Raumbedarf haben und dadurch die Bindungswinkel etwas verringern; Doppel- oder Dreifachbindungen zählen wie nichtbindende Elektronenpaare. Sind 4, 6, oder 8 derartige Paare um ein Zentrum angeordnet, so erhält man die hochsymmetrischen regelmäßigen platonischen Körper Tetraeder, Oktaeder, Würfel (bzw. das den Würfel vertretende quadratische Antiprisma). Mit 2 oder 3 Elektronenpaaren sind ebene Moleküle zu erwarten: gestreckte Moleküle bzw. solche, die ein gleichseitiges Dreieck bilden. Sollten nichtbindenden Elektronenpaare mit im Spiel sein, bleiben Ecken quasi frei, hier sind keine Atomrümpfe anzutreffen, nur Aufenthaltsräume für ein Elektronenpaar; dieses kann sich eventuell als Donatororbital betätigen.

Interessant wird die Sache, wenn 5, 7 oder gar 9 stereochemisch relevante Elektronenpaare an einem Atom vorhanden sind. Nun gibt es keine Möglichkeit einen hochsymmetrischen Polyeder auszubilden. Als Ausweg bieten sich die trigonale Bipyramide (für 5), die pentagonale Bipyramide (für 7) und das trigonale Prisma mit drei zusätzlichen Punkten über den Rechteckflächen (für 9) an. In allen genannten Fällen gibt es – zum Unterschied zu den vollkommen regelmäßigen platonischen Körpern – unterschiedlich lange Bindungsabstände der Zentrum-Liganden-Bindungen.

Offensichtlich werden derartige Lösungen von der Natur wirklich nur in Notfällen benützt.

Spannende Paradima für dieses Statement liefern die Phosphorhalogenverbindungen PCl_5 und PBr_5 . Im gasförmigen Zustand sind beide Substanzen trigonale Bipyramiden. Kommt es bei der Resublimation zum Übergang in den festen Aggregatzustand, so disproportioniert dieses Molekül zu:



Jetzt ist die Natur wieder zufrieden: die vollkommenen Körper Tetraeder und Oktaeder sind gebildet. Nicht ganz so glatt geht es ab, wenn die analoge Verbindung PBr_5 resublimiert, ist doch das Bromidion für eine oktaedrische Koordination einfach zu groß. Wie behilft sich die Natur?



Es wird einfach ein Bromidion abgespalten, so ist wenigstens ein Tetraeder möglich.

Abgesehen von Gillespies Molekülgeometrie ist es gelungen, alle platonischen Körper auch ohne Koordinationszentrum zu synthetisieren: Tetraeder: Tetrahedran, Oktaeder: $B_6H_6^{2-}$, Würfel: Kuban, Ikosaeder: $B_{12}H_{12}^{2-}$, Pentagondodekaeder: Pentagondodekahedran. Für das gleichseitige Dreieck ist das Cyclopenylium anzuführen.

Soll es uns wundern, dass all die Moleküle diese wunderbaren Strukturen im Raum bilden? Die Antwort muss sein: nein. In Hinblick darauf, dass Moleküle nichts anderes sind als die Ergebnisse von Interferenzen von Wellenzügen, nichts anderes darstellen als stehende Wellen im Raum, soll es uns nicht verwundern, mehr oder weniger ideale Figuren anzutreffen.

Εν το παν. Mandalaförmige chemische Signaturen

In einem zu den ältesten alchemistischen Manuskripten zählendem Text findet man die Darstellung eines Ouroboros, in den hinein der Satz „En to pan“ (Eines das All (oder) Eins ist alles) eingeschrieben ist (Abb. 6). Dies ist ein Zitat aus Heraklit. Der bruchstückhaft überlieferte Text lautete (in an Anlehnung an eine Übersetzung Heideggers): „Habt ihr nicht bloß mich gehört, sondern habt ihr auf den *logos* gehört, dann besteht Wissen darin, mit dem *logos* das Gleiche sagend zu sagen: Eins ist alles.“ Der *logos*, das ist die Sammlung – Sammlung in der Weise der meditativen Sammlung, der Konzentration, d.h. der Ausrichtung auf ein Zentrum hin.

Abb. 6. Ouroboros im MS 299 der Marcusbibliothek Venedig.

Ist uns eigentlich bewusst, dass dieser Satz vom einigenden einen Sein Grundvoraussetzung jeglicher Naturwissenschaft ist? Nur jemand der davon überzeugt ist, dass alles irgendwie zusammenhängt, wird sich darauf einlassen, nach einem Zusammenhang zu suchen. Er wird beginnen Regelmäßigkeiten, Gesetzmäßigkeiten aufzuspüren und später versuchen, Gesetze zu formulieren.

Viele physikalische Gesetze sind nichts anderes als ein Gleichsetzen eines Sachverhalts mit einem anderen. Ein Phänomen kann mit einem anderen in Zusammenhang gebracht werden. Eine Symmetrie ist gefunden.⁵¹

Lässt man die wichtigsten alchemistischen Symbole Revue passieren, so drängt sich der Verdacht auf, diese Symbole wären im Grunde nichts anderes als Mandalas (Kreise) zum Zwecke der inneren Schau und Sammlung. ♀ ♂ ⊙

⁵¹ Ein schönes Beispiel stellt die Berechnung des Gasdrucks durch Daniel Bernoulli (1700 – 1782) im Jahre 1738 dar:

$$p = N \cdot mv^2 / 3 V$$

Eine derartige Gleichung erinnert an eine klassische Waage mit zwei Waagschalen. Auf der einen Seite werfen wir den Druck p eines Gases in die Schale, auf der anderen befindet sich ein Produkt aus Teilchenzahl, Volumen, Masse der Teilchen, Geschwindigkeit zum Quadrat sowie ein Faktor. Dennoch zeigt die Waage Gleichgewicht an. Einheit in der Vielfalt der verschiedenen Messgrößen.

Hat sich seither viel geändert? Viele spätere chemische Signaturen standen immer noch in der alten Tradition. Selbst Dalton verwendete 1808 noch das alte Sonnensymbol für den Wasserstoff. Woher wusste Dalton übrigens, dass der Wasserstoff etwas mit der Sonne zu tun hat?

Seit Plotin ging es darum die *medulla rerum intima*, das Allerinnerste aller Dinge ins Auge zu fassen. Man dachte, dass das Innerste des Denkens mit dem Innersten der materiellen Dinge zusammenfallen muss. Plotin deutete bereits die geheime Identität von Bewusstsein und Natur an. Physisches und Psychisches waren für die frühen Chrysopoeten nicht auseinander zu halten. Mit Hilfe der Meditation glaubten manche zum unverwandelbaren Grund aller dem Wandel unterworfenen Dinge gelangen zu können.

„Wie lehrt die Natur zu geben und zu nehmen?“ Zur Geschichte dualistischer chemischer Theorien

„Verbinde das Weibliche mit dem Männlichen“, so lautet die Anweisung, die die Alchemisten Maria die Jüdin ihren Kollegen mit auf den Weg gibt. Das duale, sexuell eingefärbte Konzept der Alchemie geht offensichtlich auf eine Alchemistin zurück, die wahrscheinlich in Unterägypten irgendwann in der Zeit um Christi Geburt gelebt hat. Insbesondere die Metalle – so Maria – bestehen durch die Verbindung eines männlichen und eines weiblichen Prinzips. Sie können waschen, sich entwickeln, sterben. Wir finden Angaben über Maria bei Zosimos, der aus Panapolis stammt und der Ende des 3. Jahrhunderts in Alexandria gelebt hat.

Bei Zosimos gibt es in seinen „Visionen“ eine wunderbare Stelle, die eine zweite Dualität, nämlich die von Geben und Nehmen ins Spiel bringt:

Wie lehrt die Natur zu geben und zu nehmen? Es gibt der ehernen Mann und es empfängt der Wasserstein; es gibt das Metall und es empfängt die Pflanze; es geben die Sterne und es empfangen die Blüten; es gibt der Himmel und es empfängt die Erde.

Am Anschluss an uralte ägyptische Vorstellungen vom Tod des alten Pharaos und seiner Auferstehung, wurde in der späthellenistischen Alchemie von einem *Körper* der Stoffe, einer *Seele* und einem *Geist* gesprochen. Es wurde also von einer Dreiteilung ausgegangen, die aber auch gelegentlich zu einer Dualität vereinfacht wurde, einer Dualität von sublimierbaren oder jedenfalls als Geister abrauchende Teile einer Substanz und dem beim Erhitzen zurückbleibenden, nichtverflüchtigenden Rückstand. Gleichzeitig entwickelte sich in der ägyptisch-byzantinischen Alchemie das Grundkonzept der Schwefel-Quecksilber-Theorie, die uns das ganze Mittelalter hindurch begegnet. Die Begriffe „Schwefel“ und „Quecksilber“ waren Verdinglichungen von Stoffeigenschaften, meist im Sinne von „Anteile enthaltend in Form von trockenen, schwefelig-feurigen beziehungsweise von feuchten, kalten Dämpfen“.

Im 17. Jahrhundert tauchen die beiden gegensätzlichen Begriffe „Säure“ und „Base“ auf. Der deutsche Chemiker Otto Tachenius († um 1700) war der erste, der 1666 diese beiden Begriffe prägte.⁵² Einige Jahre später spricht Johann Joachim Becher (1635 – 1682), der etliche Jahre in Wien Kaiser Leopold I. gedient hat, von einer „Ursäure“, die von einer „Urbase“ neutralisiert werden kann. Eine klare phänomenologische Definition des Begriffes „Säure“ stammt von Robert Boyle (1627 – 1691): Nach Boyle ist eine Säure ein Stoff, der mit Kreide

⁵² Tachenius stellte auch als erster fest, dass Salze aus „Alkali“ und einem „Säurerest“ zusammengesetzt sind.

aufbraust, aus Schwefelleber Schwefel ausfällt, gewisse Pflanzenfarbstoffe rötet und durch eine Base neutralisiert werden kann.

Der französische Pharmazeut Nicolas Lémery (1645 – 1715) meinte, die kleinsten Teilchen saurer Stoffe hätten eine spitze Gestalt und die Basen stellten entsprechende Poren zur Verfügung; Neutralisation wäre so gesehen nichts anderes als das Eindringen der spitzen Teilchen in die Poren: die erste strukturelle Säure-Basen-Theorie. Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794) glaubte den **Sauerstoff als das saure Prinzip der Säuren** ansprechen zu können. Es war Justus von Liebig (1803 – 1873), der diese Rolle dem Wasserstoff zuwies. Nach der Begründung der **Ionentheorie** durch Svante Arrhenius (1859 – 1927) wurde das Wasserstoff-Ion H^+ (der Name Proton stammte von Rutherford) als der eigentliche Träger der Eigenschaft „sauer“ bezeichnet. Analog wurde das Hydroxidion OH^- als Träger der basischen Eigenschaft identifiziert.

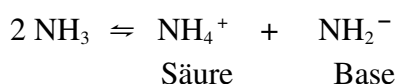
Nach Brønsted sind Säuren alle Verbindungen, die Protonen abgeben können (sogenannte Protonendonatoren) und Basen Verbindungen, die Protonen aufnehmen (Protonenakzeptoren). Ihre Funktionen sind durch ein Dissoziationsgleichgewicht verknüpft:



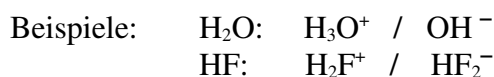
Säure Base

Man bezeichnet nach Brønsted BH und B^- als **korrespondierendes Säure-Base-Paar**. Die korrespondierenden Säure-Base-Paare lassen sich in eine Reihe einordnen, die der Spannungsreihe bei den Redoxreaktionen entspricht, wobei als ordnendes Prinzip der pH-Wert der Säure fungiert. Durch Veränderung der Konzentration der Säure-Base-Partner lässt sich – wieder analog zu den Redoxreaktionen – die saure oder basische Wirkung eines Stoffes (die Azidität⁵³ bzw. Basizität) ändern. Die saure oder basische Wirkung ist demnach keine gegebene Stoffeigenschaft, sondern eine Funktion des Reaktionspartners.

Die Erweiterung der Säure-Base-Theorie auf nichtwässrige Systeme erfolgte auf verschiedenen Wegen. E. C. Franklin bezog 1905 flüssigen Ammoniak als Lösungsmittel ein:



H. P. Cady und H. M. Elsey dehnten diese Theorie 1928 auf alle Lösungsmittel mit Eigendissoziation aus und begründeten damit die **Solvenstheorie**. Danach sind Säuren Stoffe, die die Konzentration der lösungsmittleigenen Kationen erhöhen, vice versa sind Basen Substanzen, die die Zahl der lösungsmittleigenen Anionen ansteigen lassen.

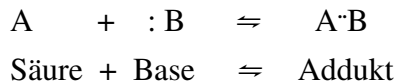


Von H. Lux wurde 1931 die Säure-Base-Theorie auf Oxidschmelzen ausgedehnt (Oxidotropie); N. J. Bjerrum prägte im gleichen Jahr den Begriff „Antibase“ für O^{2-} -Akzeptorsäuren in Salzschmelzen. L. Ebert und N. Konopik definierten 1949 Säuren als Stoffe, die Kationen abspalten oder Anionen aufnehmen; entsprechend geben Basen Anionen ab und nehmen

⁵³ Der Begriff Azidität geht auf den dänischen Chemiker Hans Peter Jørgen Julius Thomsen (1826 – 1866) zurück.

Kationen auf. Sie sprachen von der **Ionotropie**. Victor Gutmann (1921 - 1998) und I. Lindquist dehnten 1953 den Begriff des korrespondierenden Säure-Base-Paares auf alle Ionenübertragungsreaktionen aus.

G. N. Lewis hatte bereits 1938 die klassische Säure-Base-Theorie, ausgehend vom Modell der Elektronenpaarbindung, dahingehend neu interpretiert, dass er die Elektronenkonfiguration für den Säure-Base-Charakter als bestimmend annahm: **Säuren sind Elektronenpaarakzeptoren, Basen sind Elektronenpaardonatoren**. Eine Säure-Base-Reaktion ist demnach folgendermaßen zu formulieren:



Nach Lewis sind nicht nur protonenabgebende Verbindungen, sondern auch Metallionen oder Moleküle, die bezüglich der Valenzschale kein aufgefülltes Elektronenoktett besitzen, wie BX_3 und AlR_3 , zu den Säuren zu zählen.

Das von Ralf G. Pearson (*1919) im Jahre 1963 entwickelte **Konzept der harten und weichen Säuren und Basen (HSAB-Konzept)** baut auf den Überlegungen von Lewis auf. Sämtliche Komplexbildungsvorgänge - aber auch Fällungsreaktionen - sind in dieses Konzept einbezogen. Die Koordinationszahlen können durchaus von 1 verschieden sein: das Cu^{2+} -Ion bindet vier Ammoniakmoleküle, der Sauerstoff eines OH^- -Ions kann als Brücke zwischen zwei Metallionen dienen usw. Die Stärke einer Säure gegenüber einer Base wird anhand von pK_s -Werten oder Komplexbildungskonstanten gemessen. Man kann nun die Metallionen in zwei Gruppen einteilen, in harte Säuren wie z.B. H^+ , Na^+ , Fe^{3+} , BF_3 und weiche Säuren, zu denen z. B. das Hg^+ aber auch das Fe^{2+} -Ion gehören. Harte Säuren reagieren bevorzugt mit harten Basen, weiche Säuren mit weichen Basen. In der folgenden Reihe nimmt der harte Charakter der Basen ab, der weiche zu: $F > O \gg N > Cl > Br > I > S = P = C$. Dies weist auf einen Zusammenhang der „Weichheit“ mit der Polarisierbarkeit hin.

1971 thematisierte Gutmann in seiner „Chemischen Funktionslehre“ wechselseitige Beziehungen zwischen Elektronenpaar-Donor-Akzeptorfunktionen (also Säure-Base-Wechselwirkungen bzw. koordinationschemischen Umsetzungen) und Elektronen-Donator-Akzeptorfunktionen (d.h. Redoxeigenschaften). Ein entscheidender Schritt war die Klassifizierung der Elektronenpaardonatorstärke verschiedenster Lösungsmittel mit Hilfe der **Donorzahl** und der Elektronenpaarakzeptorstärke durch die **Akzeptorzahl** (letzte Arbeit gemeinsam mit U. Mayer). Dem Autor dieser Zeilen war es vergönnt, als Assistent am Institut Professor Gutmanns (Institut für Anorganische Chemie der TU Wien), zusammen mit Roland Schmid und Koze Sone, zwischen 1983 und 1987 einige Beiträge zur optischen Schnellbestimmung dieser Funktionen beisteuern zu können.

Am weitesten gegangen in Bezug auf eine allgemeine Theorie chemischer Wechselwirkung war zweifellos der 1894 in Shitomir in der Ukraine geborenen Chemiker Michail Iljitsch Ussanowitsch.⁵⁴ Umfangreiche Untersuchungen zur Leitfähigkeit und Viskosität von Metall-

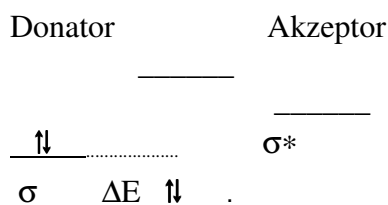
⁵⁴ **Ussanowitsch** war der Sohn eines Arztes. Er beendete 1912 seine Ausbildung im Gymnasium von Shitomir mit Auszeichnung und studierte bis 1917 an der physikalisch-mathematischen Fakultät der Universität Kiew. Seine Lehrtätigkeit begann im Jahre 1918 an der Kiewer Abenduniversität für Frauen. Daneben führte Ussanowitsch praktische Arbeiten im biogeochemischen Laboratorium der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften bei Wladimir Wernadski durch. Von 1924 bis 1929 war er Mitarbeiter am Kiewer Polytechnischen Institut von Piotnikow. Damals leitete er auch eine chemisch-pharmazeutische Fabrik. Danach übersiedelte Ussanowitsch nach Tomsk und arbeitete zunächst am Lehrstuhl für Analytische Chemie, später am Institut für

halogeniden und Säuren in organischen Lösungsmitteln führten Ussanowitsch 1938 zu einer umfassenden Erweiterung der Säure-Base-Theorie. Ussanowitsch-Säuren sind alle Spezies, die entweder Kationen (einschließlich des Protons) abspalten oder Anionen bzw sogar Elektronen aufnehmen können. Basen sind folglich Stoffe, die Anionen bzw. Elektronen abgeben oder Kationen (z.B. Protonen) aufnehmen können. Mit anderen Worten: **Redoxprozesse sowie Komplexbildungsreaktionen sind Sonderfälle der Säure-Base-Wechselwirkungen.**

Erfolge hatte Ussanowitsch insbesondere beim Verständnis der Eigenschaften der in Lösung dimerisiert vorliegenden Aluminiumhalogenide, die kein einziges Atom mit nicht aufgefüllter Oktettstruktur besitzen. Anionische Spezies wie BH_4^- oder AlH_4^- , die Hydridionen abgeben können, haben nach Ussanowitsch stark basische Eigenschaften. Ussanowitschs Sicht ist mit Pearsons HSAB-Konzept in Übereinstimmung zu bringen.

Aus heutiger Sicht erscheint vieles obsolet, überholt. Die Konzepte sollten im Lichte eines MO-Konzeptes überprüft werden. Und sie lassen sich auch sehr leicht in überraschend simplen Korrelationsdiagrammen interpretieren. R. S. Drago und B. Wayland waren meines Wissens die ersten, die 1965 einen Vorstoß in dieser Richtung unternahmen. Sie definierten die Energie einer Donator-Akzeptor-Wechselwirkung über empirische Konstante und Faktoren der Orbitalüberlappung.⁵⁵ Ein weitergehender Vorschlag, der die Wechselwirkungsenergie als Störungsenergie auffasst, kam 1967 von R. F. Hudson und G. Klopmann.

Die Donator-Akzeptor-Wechselwirkung zwischen einem leeren Akzeptororbital und einem gefüllten Donatororbital führt zu einer bindenden Wechselwirkung, da es zur Energieabsenkung beider Elektronen um den Betrag ΔE kommt.

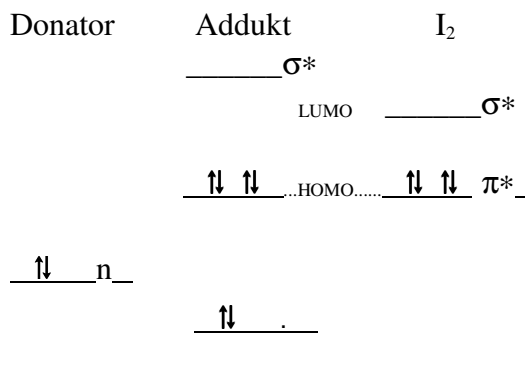


Zwei Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit eine derartige Wechselwirkung zu einer Attraktion zwischen den Molekülen führt: 1. Das Akzeptororbital muss eine hinreichend tiefe Energie besitzen, die Energie darf auch unterhalb der des Donatororbitals liegen; 2. Akzeptororbitale müssen weiter in den Raum hinein reichen als die zugehörigen gefüllten Molekülorbitale.

Ein altbekanntes Beispiel für eine Donator-Akzeptor-Wechselwirkung ist die Änderung der Farbe des I_2 -Moleküls von violett auf braun beim Auflösen in einer Lösungsmittel, welches als σ -Donator fungiert, z.B. in Aceton. Ursprünglich wird gelbes Licht absorbiert, wofür ein Übergang von einem besetzten π^* -Orbital in ein unbesetztes σ^* -MO verantwortlich ist (λ_{max} bei ca. 500nm). Bei der Adduktbildung, kommt es zur (unbeobachteten) energetischen

Anorganische Chemie der dortigen Universität. 1930 wurde er zum Professor ernannt. 1935 erhielt Ussanowitsch einen Ruf an die Universität von Taschkent. Dort übernahm er den Lehrstuhl für Physikalische Chemie und wurde Direktor des Chemischen Institutes. 1944 ging er an die Kasachische Universität von Alma-Ata. Ussanowitsch war Mitglied der Kasachischen Akademie der Wissenschaften und erhielt zahlreiche Auszeichnungen. Er starb einen Tag vor seinem 87. Geburtstag am 15. Juni 1981 in Alma-Ata. Seine theoretischen Arbeiten fanden zu seinen Lebzeiten – wegen der in der sowjetischen Zeit schwierigen kommunikativen Situation - im westlichen Ausland leider nicht die Resonanz, die sie verdient hätten. Lit.: Heinig, K. (Hsbg.) Biographien bedeutender Chemiker, Volk und Wissen, 5. Aufl., Berlin 1983, p. 234ff.
⁵⁵ A. Zschunke, Molekülstruktur: Form. Dynamik. Funktionalität, Spektrum, Heidelberg 1993, p. 209 ff.

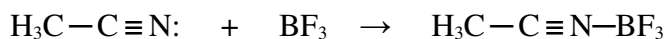
Absenkung eines ursprünglich nichtbindenden Donator-MOs und zur (beobachtbaren) Anhebung der σ^* -MOs des Akzeptorfragments. Der Elektronenübergang wird energiereicher, nun wird bei ca. 400 nm absorbiert, die Farbe ist gelb.



Ein Molekülfragment, welches nach einer Donator-Akzeptor-Wechselwirkung Elektronen in seine ungünstig gelegenen und eher antibindend wirkenden Orbitale aufnehmen müsste, wird destabilisiert. (Und so sind ja auch oft genug derartige Wechselwirkungen nur die Einleitung zu einer komplexeren chemischen Reaktion.) Dass der Akzeptor bei der Adduktbildung destabilisiert wird, ist auffällig im Falle der Reaktion von Trimethylamin mit Iod. Es kommt zum Bindungsbruch.

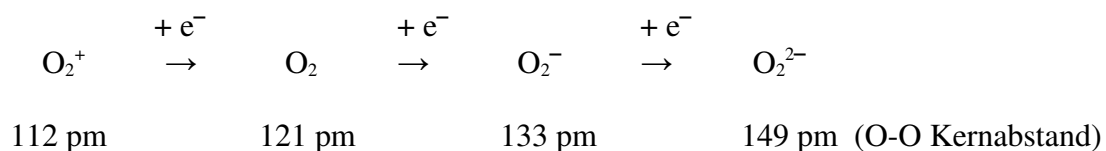


Meist ist der Effekt nicht so dramatisch, es kommt nur zur Bindungsverlängerung. Nehmen wir das Beispiel der Adduktbildung zwischen Acetonitril und Bortrifluorid.



Die C-F-Bindungen sind im freien BF_3 alle 130,9 pm lang im Addukt finden wir zwei von ihnen auf 133,4 pm verlängert, die dritte sogar auf 135,3 pm. Eine Vielzahl von ähnlichen Beispielen kann angeführt werden.

In analoger Weise wie die Ausübung einer Elektronenpaarakzeptorfunktion wirkt sich die Aufnahme eines Elektrons aus, denken wir doch nur an die folgende stufenweise Reduktion:



Umgekehrt macht sich die Ausübung einer Donatorfunktion zumeist dadurch bemerkbar, dass es zur Bindungsverkürzung kommt. So stellt man bei der Bildung des Kupfertetraminkomplexes $Cu(NH_3)_4^{2+}$ eine rund 10%-ige Verkürzung der NH-Bindungen fest.

Schlussfolgerung: Das Elektronenpaare oder Elektronen aufnehmende Molekülfragment wird in der Regel destabilisiert, das abgebende stabilisiert. Dies erinnert an das Sprichwort: Geben ist seliger denn Nehmen. Das hängt damit zusammen, dass im ersten Fall eher antibindende Molekülorbitale aufgefüllt werden, im letzteren energetisch hochliegende MOs entleert werden.

Zwischenbilanz

Während die Chemie Stoffeigenschaften vorwiegend funktional definiert und so gesehen antiaristotelisch konzipiert ist, ging die Physik sehr lange von der Vorstellung aus, dass Objekten Eigenschaften (Akzidenzien) und Zahlenwerte (wie z.B. Masse, Geschwindigkeit etc.) unabhängig vom Beobachter zugeordnet werden können. Zum Teil ist sie auch heute noch davon überzeugt, denn kaum jemand wird behaupten wollen, dass die Messung des Lichtes eines weit entfernten Sterns dessen Elementzusammensetzung stört. Die Quantentheorie ist in dieser Hinsicht viel vorsichtiger. Sie Begreift jede Messung als Wechselwirkung (Interferenz).

„...und du wirst die gesuchte Sache finden.“ Die ganzheitliche Sicht der Alchemie

Die uns zunächst fremdartig anmutende Voraussetzungen der alchemistischen Philosophie stellen eine gewisse Symmetrie her zwischen Materie und Geist. Dadurch entsteht ein Gleichgewicht gegen die einseitig spiritualisierende Tendenz, die der Neuplatonismus gegenüber Plato selbst beträchtlich verstärkt hat und die vom Christentum übernommen wurde. Im Gegensatz zur neuplatonistischen Identifikation der Materie mit dem Bösen wohnt nach der alchemistischen Auffassung in der Materie ein Geist, der auf Erlösung harrt. Der alchemistische Laborant ist stets mit einbezogen in den Naturlauf in solcher Weise, daß die wirklichen oder vermeintlichen chemischen Prozesse in der Retorte mit den psychischen Vorgängen in ihm selbst mystisch identifiziert sind und mit denselben Worten bezeichnet werden.

W. Pauli, Die Wissenschaft und das abendländische Denken, 1955⁵⁶

In der Vorgeschichte der Chemie hat es eine einheitliche Sicht der Dinge gegeben. Es wird zwar in keiner alchemistischen Schrift explizit so formuliert, man könnte den Sukkus alchemistischen Denkens vielleicht dennoch in folgendem Satz zusammenfassen: **Wir Menschen sind nichts anderes als Werkzeug der Natur, einer Natur, die auf sich zu unterwegs ist. Durch uns erkennt sich die Natur selbst ...**

Das *hyle – morphe* Konzept des Aristoteles

Viele der frühen Alchemisten nannten sich selber Philosophen, also Liebhaber der Weisheit. Beispielsweise gibt der im 5. Jahrhundert in Alexandria lebende Alchemist Olympiodoros in seinem Traktat eine Art Abriss der Materie-Vorstellungen der Vorsokratiker und zitiert häufig Plato und Aristoteles.

Stephanos von Alexandria, der im 7. Jahrhundert die meiste Zeit seines Lebens am Hof des oströmischen Herrschers Herakleios verbracht hat, wird zu Anfang seiner neun alchemistischen Vorlesungen „universeller Philosoph und Lehrer der großen heiligen Wissenschaft“ genannt. Den Titel „Philosoph“ trägt Stephanos höchstwahrscheinlich zu Recht, hat er doch nicht nur alchemistische Texte geschrieben, sondern auch Kommentare zu Platon und Aristoteles verfasst. Kein Wunder also, wenn aristotelisches Gedankengut von allem Anfang an in alchemistischen Schriften zu finden ist.

Was sagte Aristoteles? Fundament des aristotelischen Gedankengebäudes ist das *hyle – morphe* Konzept. Von einem beliebigen Gegenstand können Qualitäten angegeben werden. Er sieht z.B. soundso aus. Diese Qualitäten sind Eigenschaften von etwas, das selber keine Eigenschaft ist. Dieses Etwas ist als der letzte Träger von Eigenschaften zu begreifen, es ist selber eigenschaftslos, Materie schlechthin: *prote hyle*, d.h. Erste Materie, *materia prima*, Urmaterie. Die Eigenschaften in ihrer Gesamtheit nennt Aristoteles *morphe*: Form, *forma*.

Eigenschaften der Dinge unter dem Mond⁵⁷ können wechseln. Solche, die zunächst nur potentiell, also möglich waren, können aktuell werden und damit sinnlich erfahrbar. Aristoteles

⁵⁶ W. Pauli, Die Wissenschaft und das abendländische Denken (Vortrag auf dem Internationalen Gelehrtenkongress Mainz 1955) in: K. v. Meyenne (Hrsg.), Quantenmechanik und Weimarer Republik, Vieweg, Braunschweig 1994, p. 102 – 112.

selber führt folgendes Beispiel an: Die Eigenschaften des Eisens und des Schwefels sind im Pyrit nur potentiell enthalten; wenn man den Pyrit verhüttet, also Eisen und Schwefel gewinnt, werden die ursprünglich nur potentiellen Eigenschaften aktuell und - umgekehrt - die aktuellen des Pyrits potentiell.

Diese Überlegung gilt für alle Stoffe, auch für die Elemente. Aristoteles übernimmt die auf Empedokles zurückgehende Theorie von den vier Elementen „Erde“, „Wasser“, „Feuer“ und „Luft“. Die vier Elemente sind aus *prima materia* und je einem Paar tastbarer Eigenschaften gebildet. Die Materie ist eingespannt in die Gegensätze von nass-trocken und heiß-kalt. Zusätzlich werden die Primärqualitäten durch unterschiedliche „Schwere“ charakterisiert. Diese Schwere löst Bewegung aus. Folglich ist das Ganze in Bewegung zu denken. Unter den vier Elementen findet ein beständiger Kreislauf statt: das warm-trockene Feuer geht in warm-feuchte Luft über, diese in kalt-feuchtes Wasser, das Wasser aber in kalt-trockene Erde, diese wiederum in warm-trockenes Feuer. Eigentliche Ursache alles Entstehens und Vergehens ist die Rotation der Fixsternsphäre und die Bewegung der Sonne in der Ekliptik.

Soweit zunächst das Konzept des Aristoteles. So kompliziert dachten die meisten Alchemisten im Anschluss an die aristotelische philosophische Schule nicht! Es genügte ihnen, zu hören, dass jegliche Materie, also auch die Metalle, auf eine Urmaterie „zurückgeführt“, d.h. „reduziert“, werden kann, wenn man sie nur ihrer Eigenschaften beraubt. Und wie beraubt man sie ihrer Eigenschaften? Vielleicht durch aggressive Reagenzien. Vielleicht durch Hitze? Dann könnte man das Material aller Form entkleiden und später ihm eine neue Form aufprägen. So wäre Gold zu produzieren...

Tatsächlich können wir heute konstatieren, dass das Grundkonzept der Materie des Aristoteles so schlecht nicht ist. Die Materie scheint wirklich nichts anderes als das - nach bestimmten Symmetrieregeln⁵⁸ - Formbare zu sein. Um die Materie umzugestalten, ist Energie vonnöten. Es war der Betrag der Energie, der notwendig ist, um sagen wir aus Quecksilber Gold herzustellen, bei dem sich die Alchemisten über zweitausend Jahre hindurch verschätzt haben. Schließlich, so wissen wir - und darauf sind weder Platon noch Aristoteles gekommen - sind Energie und Materie im Grunde eins.

Die Natur erfreut sich der Natur⁵⁹

Das Schlüsselwort der frühesten Alchemie war *φύσις* (*physis*) - Natur. Wenden wir uns zunächst der Etymologie zu. *Phyo*, das zu *physis* gehörende Verbum bedeutet „wachsen, entstehen“; *Phyesthai* „blühen“. *Phyo* gehört zur indogermanischen Wortwurzel *b[h]eu*, *bhu*. (Im Deutschen gehören dazu *Bauch*, *Busen*, *Busch*..., im Griechischen unter anderem *phallos*, im Lateinischen *fio*, „ich werde“, und *fui*, „ich bin gewesen“.) Die deutschen Substantive *Blüte* und *Blatt* gehören zu der sich mit *b[h]eu* überschneidenden Wurzel *b[h]el* (*leuchten*, *weiß glänzen* aber auch *schwellen blühen*). *Blitz*, *Blick*, *Blau*, *Blech* sind hier einzuordnen, im Griechischen *phaos*, bzw. *phos* „Licht, Glanz“.

Im Wort *physis* steckt das Aufblühen. Aufblühen und Aufleuchten gehören zu einem Bild; im Bild des Aufgehens einer Blüte, in der Vision des Aufleuchtens eines Blitzes, kommt Verborgenes ans Licht, entsteht *kosmos* (Zierde) aus *chaos* (dem gähnenden Spalt). Die

⁵⁷ Jenseits des Mondes ziehen die Planeten ihre Bahn. Dahinter sind die Fixsterne an kristallener Sphäre befestigt. Dies ist der Bereich des fünften, eigentlich göttlichen Elementes, des Äthers.

⁵⁸ Hier hat sich ein schwerwiegender platonistischer Einwand eingeschlichen!

⁵⁹ R. W. Soukup, „Natur, du himmlische! Die alchemistischen Traktate des Stephanos von Alexandria“, *Mitteilungen der Österr. Gesellschaft f. Geschichte d. Naturw.* **12**, 1992, p. 1 – 93, speziell p. 75ff.

physis - ursprünglich gedacht - ist das (wie ein Schmuckstück) Aufblitzen aus dem dunklen Nichts, ein Anheben, ein Aufgang aus dem leeren Raum des gähnenden Spaltes. Es ist für uns nur mehr schwer nachvollziehbar, aber es ist so, im Bild der *physis* steckte unbändige Kraft.⁶⁰

„Die Natur erfreut sich der Natur, die Natur überwindet die Natur, die Natur beherrscht die Natur“, so lautet ein im frühen alchemistischen Schrifttum oft zitierter Satz. Als Urheber dieses kryptischen Spruches wird ein gewisser Ostanos genannt, der ein persischer Magier des vierten vorchristlichen Jahrhunderts gewesen sein soll. Ostanos wird als einer der legendären Begründer der Alchemie angeführt.

Was soll dieses Satz von der sich an der Natur erfreuenden Natur aussagen? Martin Heidegger hat mit Recht darauf hingewiesen, dass der Begriff der *φύσις* (*physis*) ein sehr vielschichtiger ist, ja dass in diesem Begriff das Konzept der ganzen frühen griechischen Philosophie verborgen ist.

Es ist unumgänglich bei Aristoteles nachzufragen, was denn eigentlich die *physis* sei, hat doch dieser Philosoph mehrere Bücher der *physis* gewidmet. Im zweiten Buch seiner „Physikvorlesung“ behandelt Aristoteles die Frage nach der *physis* in drei großen Anläufen.

Was also ist *physis* ihrem Wesen nach? Nun, die erste Antwort des Aristoteles besteht darin zu sagen: Die *physis* ist eine Art des Seins, einen Seinsweise – und zwar die des Elementaren. Die *physis* „ist“ gewissermaßen die Elemente, wobei die vier Elemente „Erde, „Wasser“, „Feuer“ und „Luft“ nicht als wirkliche Erde, Wasser etc, aufzufassen sind, vielmehr als Grundzustände der Materie, etwa im Sinne von Aggregatzuständen. Anders formuliert: Die Natur ist das Material der Dinge. Dieses Material tritt uns im festen, flüssigen, luftigen oder feurigen Zustand entgegen.

Es ist darüber hinaus daran zu denken, dass uns das Material in der Welt, in der wir leben, niemals in reinen Form gegenübertritt, sondern immer in den verschiedensten Mischungen und Gestaltungen. „Und in der Tat ist die Gestalt (der Dinge) im höheren Grad Natur als das Material,“ sagt auch prompt Aristoteles im zweiten Anlauf der Frage nach der *physis*. Denn mehr als im Material der Gegenstände, wie Holz oder Stein, begegnet uns Natur in der Seinsweise der daraus entstandenen Formen, also im konkreten Baum und in einer bestimmten Felswand. Die Natur ist das zu Gestaltende (das Material) aber auch das Gestaltete. Alchemistisch ausgedrückt: Die Natur ist der Natur übergeordnet.

Das Geformte ist nun keineswegs unvergänglich, so wie die Elemente in ihrer Vierheit. Formen ändern sich. Der Baum ist aus einem Samen entstanden, unter Beteiligung von Sonne, Wasser, Nährstoffen. Beim Verbrennen nach einem Blitzschlag bleiben nur Asche und Rauch zurück. Die Natur ist ein ewiges Formen, ein Gehen, eine ständige Bewegung. Wie sagt Aristoteles: „Die Natur ist ein Gang“. Ein Gang wohin? „... ein Gang zur Natur.“

Das Wesen der Natur besteht im Umgestalten. Die Natur ist das Material der Formung, sie ist das daraus Geformte und sie ist obendrein noch die Formung. „Die Natur beherrscht die Natur; die Natur erfreut sich der Natur,“ so drückt es der Alchemist aus. Was soll damit gesagt sein? Die Natur ist auf sich selbst bezogen. Um dieses Rätsel besser verstehen zu können, müssen wir uns darüber im klaren sein, dass das Altertum die Bewegung immer aus

⁶⁰ Interessant ist, dass ein griechische Wort für Höhle *pholeos* auch aus diesem Wortstamm kommt. Bei einem Bau kann man auch an eine Höhle denken. Das erinnert daran, dass im deutschen Wort *Berg* ebenfalls dieses Doppelbedeutung steckt: der aufgerichtete Berg, der bergen, verbergen kann. Übrigens lautet ein Fragment Heraklits: „Die *physis* (Natur) liebt das Sichverbergen“.

der Ruhe heraus verstanden hat. In ihrer rasenden Bewegung ruht die Natur in ihrer Selbstbezogenheit in sich: *Die Natur ist diejenige, die aus sich selbst heraus auf sich selber zu unterwegs ist.*

Bis über die Grenzen der Sprache hinaus, lotet in Alexandria eine zeitlang ansässige Philosoph Plotin die Frage nach der Natur aus. Die Selbstbezogenheit der Natur will nichts anderes besagen, so Plotin, als „*dass die sogenannte Natur Seele ist, Spross einer höheren Seele von mächtigerem Leben, ... stillestehend in ihrem In-sich-Stehen.*“ (30, 4)

Mit dem Satz Plotins von der in sich stehenden Natur finden wir uns unterwegs in einer offenen mystischen Landschaft. Plotin meinte, es wäre möglich durch die Betrachtung der Natur, etwa in der Betrachtung einer Pflanze oder des Sternenhimmels innezuhalten und an die Quelle des Universums zu denken. Im Augenblick des Erkennens des Ursprungs betrachtet nun der Mensch den Urgrund, gleichzeitig erschaut der Ursprung auch den Menschen: „*Indessen, wenn man dieses Eine, das heißt eben den verharrenden Urgrund bei der Pflanze und das Eine beim Lebewesen, das Eine bei der Seele, das Eine beim All ins Auge fasst, so hat man das Kraftvollste und das eigentlich Wertvollste.*“ (30, 10) Und weiter: „*Das Geschaute aber ... sieht der Schauende nicht – die Rede ist freilich kühn – unterscheidet es nicht, stellt es nicht als zweierlei vor, sondern er ist gleichsam ein anderer geworden, nicht mehr er selbst und nicht mehr sein eigen, ist einbezogen in die obere Welt und Jenem Wesen zugehörig, und so ist er Eines, indem er gleichsam Mittelpunkt mit Mittelpunkt berührt.*“ (9, 10)

Die Goldkunst des Stephanos von Alexandria

Ganz im Sinne Plotins, der bekanntlich eine Zeit lang in Alexandria gelebt hat und vielleicht dort eine Tradition neoplatonistischen Denkens begründet hat, sind die Worte des Stephanos von Alexandria zu verstehen, wenn er seinen Schülern - und damit vielleicht auch uns - in der ersten Vorlesung „Über die Goldkunst“ zuruft:

Weiset von euch die der Materie verhaftete Anschauung, auf dass ihr für würdig erachtet werdet, das verborgene Mysterium mit euren inneren Augen zu schauen. Denn ein Natürliches ist notwendig und eine Natur, die alles beherrscht, von solcher Art – um es euch klar zu sagen -, dass die Natur die Natur erfreut, dass die Natur die Natur beherrscht und dass die Natur die Natur besiegt. Denn sie erfreut sich, da sie mit sich selbst blutsverwandt ist, und schließlich, der Natur übergeordnet, besiegt sie die Natur, sobald das Körperhafte des Prozesses die Initiation in die Mysterien vollzieht. ...

Ab nun ist ungewiss, wer mit dem „du“ gemeint ist - die Natur oder der Mensch?

Was ich dir zu schildern habe ist die umfassende Magnesia (d.h. die Bereitung der Arkansubstanz). Wer wird sich nicht über die von dir zur Vollendung gebrachte Goldkoralle wundern. Durch dich wird das ganze Mysterium vollendet... Auf dich wird sich die Strahlen aussendende Wolke des Sonnenaufgangs senken... Einen von fern her sichtbaren Glanz mit dir tragend wirst du diesen in der Art einer Braut verhüllen und so das makellose Naturmysterium empfangen... Deine strahlende Perle blendet mein Augenlicht. Dein entflammter Mondstein versetzt mich in Staunen, die leuchtender Strahlenkranz erfreut mein Herz. O Natur, wahrlich der Natur übergeordnet, die Naturen erobernd ...

Denn dann, wenn du das erkannt hast, ... werden die Kämpfe der Zweittracht zu Ende gehen, dann wird keine alte Mühe mehr sein, sondern ein mit einem Goldbaldachin überdachtes Ruhebett... Nähert euch, o Liebhaber der Tugend, dem immateriellen Wunsche! Lernet, wie süß Gottes Licht ist! Wertlos sind die Dinge, von denen wir jetzt in Staunen versetzt werden, im Vergleich mit jenem glücklichen Los. ... Warum also sollten wir die Spezies Goldkoralle bewundern? Wir sollten eher die unendliche Schönheit bewundern.

Stephanos von Alexandria bedient sich in seinen alchemistischen Traktaten des angedeuteten Bedeutungshorizontes des antiken Begriffs des *physis*, und er gibt auch eine ganze Reihe von Symbolen an, die bei Meditationen über das Wesen des Natur förderlich sind. Er spricht von den auf ihren Sphären kreisenden Planeten, über die uns einschließenden Bahnen von Sonne und Mond, er beschwört den pythagoräischen *tetraktys* als Symbol der Harmonie in der Musik und er lenkt das Gespräch schließlich auf die alle in sich vereinigende Monade. Aus der ersten Eins, der *monas*, ist alles geworden. Wer über diese Monade nachdenkt, befindet sich im Herzen der Kraft, ist eingebettet in ein großes Werden. Er ist beim A und beim Ω , beim Anfang und beim Ende. Er kann große Dinge verrichten. Gold herzustellen ist für ihn ein leichtes...

Betrachte den Spruch des Alten: „*Nichts bleibt, nichts wird zurückgelassen außer dem Dampf und dem Aufsteigen des Wassers.*“ Erkennst du nicht, was der weise Mann uns hier sagen will, warum er in Rätseln spricht..., warum er wie ein Lehrer, der auf etwas hinweist, verkündet: „*Nichts bleibt zurück, nichts fehlt mehr denn der Dampf und das Aufsteigen des Wassers.*“ Indem er gezeigt hat, **dass es ums Ganze geht**, beschränkt er sich in seinen Ausführungen auf wenige Worte; damit ihr nicht mehr über den kilikischen Safran nachdenkt, nicht über die Blume Pimpernelle, nicht über den pontischen Rhabarber, nicht über die Galle von Vierfüßlern auch nicht über einen aus Steinen und anderen korrosiven Mineralien gewonnenen Saft; auf dass nicht die zerstreuten Menschen von der Wahrheit weggelotst werden, und auf dass sie nicht in ihrer natürlichen Existenz nach nicht existierenden Möglichkeiten suchen. (Stephanos von Alexandria, Über die Goldkunst, Traktat II)

Die Visionen des Zosimos

Symbol der Totalität ist seit jeher der Abstieg, gefolgt vom Aufstieg. Die Tiefe in ihrer Gesamtheit muss erfahren werden. Bei Stephanos ist die Passage „*beachte das Aufsteigen der Dämpfe*“, eine quasi stehende Redewendung, die immer wieder kehrt. Etwa vierhundert Jahre früher, beim aus Panapolis in Ägypten stammenden Alchemisten Zosimos, stehen Ab- und Aufstieg im Zentrum der Schilderung einer Vision, die an damalige liturgische Praktiken erinnert. Vielfach erscheinen Anknüpfungspunkte an die ägyptische Lehre vom sterbenden und auferstehenden Gott der Natur, den Osiriskult.

Zosimos tradiert archaischen Konzepte: Der aus Rumänien stammende Religionshistoriker Mircea Eliade verweist auf den Traditionszusammenhang der Rolle des Alchemisten mit der des Schmiedes in der archaischen Gesellschaft: Letzterer hatte eine dem Priester ähnliche Stellung, er war Vermittler zwischen der Welt der Geister und der Welt des Menschen. Vom Metall dachte man, dass es Anteil an der Welt des Göttlichen habe. Nicht zufällig gibt es zu den klassischen sieben Metallen auch sieben Metallgötter: Gold – Sol, Silber – Luna (bzw. Selene), Eisen – Mars, Kupfer – Venus, Quecksilber – Mercurius (Hermes), Zinn – Jupiter, Blei – Saturn. Hermes war als außerdem der pfiffige und nicht ganz ungefährliche Schutzpatron der Alchemie, genau genommen begegnen wir dem Hermes Trismegistos in dieser Funktion; Hermes Trismegistos war ein synkretistisches Verschmelzungsprodukt aus dem griechischen Götterboten Hermes und dem ägyptischen, ibisköpfigen Gott der Gelehrsamkeit Thoth.

Im archaischen Denken wurde der Reifungsprozess der Metallembryonen mit dem Reifungsprozess des Menschen parallelisiert. Die archaischen Schmelzer mussten Reinigungszeremonien über sich ergehen lassen, wenn sie Eisen gewinnen wollten. Der Reduktionsvorgang ist als eine schmerzvolle Geburt verstanden worden, geradezu als eine höllische Qual, die die Natur erleidet. Der Mensch sah sich in der Rolle des Geburtshelfers.

Seit der Entdeckung der dokimastischen⁶¹ Verfahren, die im wesentlichen metallurgische Prozesse im Kleinen darstellen, ist auch hier die gedankliche Assoziation der Prüfung eines Erzes oder einer Legierung mit dem Quälen (eines Menschen) leicht nachzuweisen, bedeutet doch das griechische Substantiv *βασανος* sowohl Probiertiegel als auch Folterung, Marter, Qual. (Im Lateinischen heißt der Probiertiegel *basanites, ae (m)*.) Es gibt im Lateinischen den gleichen Zusammenhang bei einem anderen Wort, wobei - wenigstens für Christen - ein wesentliches Symbol hinzu kommt: *crucibulum, i* – Probiertiegel, Tiegel; *cruciatum, us* - Qual; *crucio, avi, arum* - a) kreuzigen; b) quälen. „*Cruciabitur igne et sulfure*“, heißt es in der Apokalypse 14, 10. (*Gereinigt mit Feuer und Schwefel*) Durch die Qual des Feuers wird die Echtheit, die *incorruptibilitas*, nicht nur eruiert, sondern auch erlangt. Die englische Sprache kennt den Konnex bis heute: *crucible* - Schmelztiegel; *to cruciate* - quälen, peinigen.

Nun folgt ein Ausschnitt aus dem „Traktat des göttlichen Zosimos über die Kunst“. Wesentlicher Teil des Textes ist die Schilderung einer Vision:

...ich schlief ein und sah einen Priester vor mir stehen oben auf einem Altar, der die Form einer flachen Schale hatte. ... Dasselbst stand der Priester, und ich hörte, wie eine Stimme von oben zu mir sagte: <Ich habe vollendet den Abstieg über die fünfzehn Stufen der Finsternis, und ich habe vollendet den Aufstieg über die Stufen des Lichtes...> Und ich vernahm die Stimme dessen, der oben auf dem Altar stand, und ich fragte, weil ich von ihm erfahren wollte, wer er sei. Er aber antwortete mir mit feiner Stimme und sprach. <Ich bin Ion, der Priester der innersten verborgenen Heiligtümer, und ich unterziehe mich einer unerträglichen Pein. Denn es kam einer um die Morgenfrühe in eilendem Laufe, der überwältigte mich und zerteilte mich mit dem Schwert, indem er mich durchbohrte und zerriss ... Und er zog die Haut meines Kopfes ab mit dem Schwert ... und verbrannte das Ganze der Kunst entsprechend auf dem Feuer, bis ich wahrnahm, wie mein Körper verwandelt und zu Geist wurde. Und dies ist meine unerträgliche Qual.>... Und wie er mir dies noch erklärte und ich ihn mit Gewalt zwang, mir Rede zu stehen, da geschah es, dass seine Augen wurden wie Blut. Und er spie all sein Fleisch aus. Und ich sah, wie er sich in einen verstümmelten Homunculus verwandelte. Und mit seinen eigenen Zähnen zerfleischte er sich und sank in sich zusammen.

Voller Furcht erwachte ich aus dem Schlafe, und ich erwog bei mir: <Ist dies nicht etwa die Zusammensetzung der Wässer?> Ich meinte fest davon überzeugt zu sein, dass ich wohl verstanden hätte. Und ich schlief wieder ein. Und ich sah denselben Schalenaltar, oben darauf brodelndes Wasser und viel Volks darin, eine unzählbare Menge... Und ich erblickte einen grauen kahlgeschorenen Homunculus, der sprach zu mir: <Die Schau, die du siehst, ist der Eingang und der Ausgang und die Wandlung.>... Als ich mir dies anschaulich vorgestellt hatte, erwachte ich wieder, und ich sprach zu mir selbst: <Welches ist die Ursache dieser Schau? Ist also dieses weiße und gelbe siedende Wasser das göttliche Wasser?> Und ich fand, dass meine Erkenntnis immer trefflicher wurde. Und ich sagte:

<Es ist schön zu reden und schön zu hören,
schön zu geben und schön zu nehmen,
schön arm zu sein und schön reich zu sein.
Wie lehrt die Natur zu geben und zu nehmen?
Es gibt der ehernen Mann, und es empfängt der Wasserstein;
es gibt das Metall, und es empfängt die Pflanze;
es geben die Sterne, und es empfangen die Blumen;
es gibt der Himmel und es empfängt die Erde;
es geben die Donner vom herauszuckenden Feuer,
und alle Dinge werden zusammengeflochten.
Und alle Dinge werden wieder aufgelöst,
und alle Dinge werden miteinander vermischt,
und alle Dinge werden zusammengesetzt,
und alle Dinge werden wieder entmischt.

⁶¹ *δοκιμασια*: Prüfung, Untersuchung; im antiken Athen die Prüfung der Beamten und Ratsherrn vor dem Amtsantritt auf Kenntnis der Bürgerrechte und Unbescholtenheit; in der Metallurgie die Untersuchung auf den Edelmetallgehalt. Die Feuerprobe auf Gold ist wohl uralt, der Treibprozess ebenfalls. Die Zementation ist wahrscheinlich im 6. vorchristlichen Jahrhundert in Lydien entwickelt worden. Die sogenannte Bleiarbeit, die zur Silber-Kupfertrennung eingesetzt wurde, scheint in den spanischen Goldminen entdeckt worden zu sein, die von den Römern übernommen wurden.

Und alles wird benetzt werden und wieder getrocknet,
und alles blüht auf, und alles verwelkt auf dem Schalenaltar.
Denn jegliches geschieht nach einer bestimmten Methode,
nach einem bestimmten Maß und in genauer Abwägung der vier Elemente.
Die Verflechtung der Dinge und die Auflösung...
Die Methode ist natürlich einatmend und ausatmend...
sie bringt Mehrung und Abnahme.

Und alle Dinge – um es zusammenzufassen – stimmen überein in der Art der Trennung und der Vereinigung, ohne dass die Methode auch nur im kleinsten außer acht gelassen wird: So kommt die Natur zum Vorschein. Denn die Natur, wenn sie auf sich selbst gewendet wird, verwandelt sich. Denn dies ist die kunstvolle Struktur und Verbindung des gesamten Kosmos.>...⁶²

Offensichtlich spricht Zosimos hier auch den Wandlungen der *physis*, der Natur, gleichzeitig aber von den Wandlungen im alchemistischen Gefäß und von den psychischen Wandlungen. Das alchemistische *opus* ist ein Nachahmen der Natur. Vergessen wir nicht, die Erze müssen zerstückelt, zerrieben und geröstet werden. Die Zerstückelung ist ein Gang hin zu *materia prima*, in ähnliche Weise ist auch die Röstung eine Vernichtung vorhandener Form. Wenn alle Form fehlt, kann neue aufgeprägt werden.

Analog zum physischen Geschehen bleibt auch der menschlichen Psyche der Gang in die Finsternis nicht erspart. Erst danach wird der Geist frei.

Die von Zosimos angesprochene Natur ist eine archaische Natur. Wir haben den sicheren Boden des *logos* verlassen und finden uns auf den schwankenden Balken der schlecht erleuchteten Bühne des Mythischen wieder. Dionysoskult, Mithraskult, Osiriskult, aus all diesen Mysterienkulten finden wir Motive in diesen Visionen. Der Text ist ein Zeugnis des späthellenistischen Synkretismus in Ägypten.

Osiris ist der sterbende und wieder auferstehende Gott der Natur. Die Nilflut ist Osiris. Die im Frühjahr aufblühende Natur ist Osiris. Im Mythos wird Osiris durch seinen Bruder Typhon zerstückelt. Dank der Zauberkräfte seiner Mutter-Schwester-Geliebten Isis werden alle Knochen wieder gefunden. Isis haucht und dem toten *corpus* wieder Leben ein.

Die Zerstückelung ist das zentrale Thema des Dionysoskultes gewesen. Zum Dionysischen gehört auch das Element Wasser. Walter F. Otto schrieb dazu: „*Das Wasser ist ... das Element, in dem Dionysos zu Hause ist.*“ Der Psychologe und C. G. Jung-Schüler Edward F. Edinger betont das psychische Moment: „*Im allgemeinen ist das Dionysische dämonisch und ekstatisch und auf Intensität des Erlebens aus, statt auf klaren, gegliederten Sinn. Es ist ein Auflöser von Grenzen und Beschränkungen, der maßloses Leben bringt. In seiner Extremform ist es wild, irrational, verrückt, ... Es ist der Feind aller konventionellen Gesetze, Regeln und hergebrachten Formen. ... Die Schwachen und Unreifen können unter seinem Ansturm zerbrechen, die Gesunden werden ... belebt wie die Erde durch die Überschwemmung des Nils. An vielen klinischen Syndromen ist eine ... Identifikation mit dem dionysischen Prinzip schuld. Bei Alkoholismus und Drogenabhängigkeit liegt das auf der Hand. Auch der Donjuanismus lässt sich als eine Identifikation mit Dionysos begreifen, bei der sich das Individuum mit einer Gefolgschaft von Frauen in unterschiedlichen Stadien der Liebe oder Raserei umgibt. Diese Situation bedroht einen mit der eigenen psychischen Zerstückelung durch Konflikte, Verpflichtungen und Verwicklungen. ... Das Dionysische zerstört das ... Ich, das nicht mit der Ganzheit verbunden ist...*“

⁶² Übersetzung nach: C. G. Jung, Studien über alchemistische Vorstellungen, Walter Verl. Olten, 2. Aufl. 1982, p. 67ff.

Das mit der Ganzheit verbundene Ich aber ist das geheimnisvolle Selbst. Wenn die notwendige Verbindung hergestellt ist, dann strömt positive Kraft. Friedrich Nietzsche beschwört (in der „Geburt der Tragödie“) diesen Zustand: „*Unter dem Zauber des Dionysischen schließt sich nicht nur der Bund zwischen Mensch und Mensch wieder zusammen: auch die entfremdete, feindliche und unterjochte Natur feiert wieder ihr Versöhnungsfest mit ihrem verlorenen Sohne, dem Menschen. Freiwillig beut die Erde ihre Gaben, und friedfertig nahen die Raubthiere der Felsen und der Wüste... Jetzt, bei dem Evangelium der Weltenharmonie, fühlt sich jeder mit seinem Nächsten nicht nur vereinigt, versöhnt, verschmolzen, sondern eins, als ob der Schleier der Maja zerrissen wäre und nur noch in Fetzen vor dem geheimnisvollen Ur-Einen herumflattere.*“

Nach allen Prozeduren, die die Materie erlitten hat, nach allen Erfahrungen von Höhen und Tiefen, Hoffnungen und Enttäuschungen, Abstiegen und Aufstiegen, wird auch der die Wandlungen vornehmende Mensch gewandelt. Er sieht seiner eigene Verwandlung entgegen: vom grauen Bleizustand über das hautfarbene Kupfer zum schimmernden Silber, schließlich zum unzerstörbaren Goldzustand.

Der Zosimos-Text bietet eine Zusammenfassung des Geschehens:

Und damit ich mich kurz fasse, mein Lieber, errichte einen Tempel aus einem Stein... Innen enthält er eine Quelle des reinsten Wassers und hervorblitzendes Sonnenlicht. Bemühe dich herauszufinden, wo der Eingang des Tempels ist ... Engschlündig ist nämlich der Ort, wo sich die Öffnung des Eingangs befindet; und ein Drache liegt beim Eingang, den Tempel bewachend. Und indem du diesen ergreifst, opfere ihn zuerst, und wenn du ihm die Haut abgezogen hast, nimm das Fleisch desselben mitsamt den Knochen ... und lege die Glieder zusammen mit den Knochen zum Eingang des Tempels... Gehe hinein und du wirst die gesuchte Sache finden, nämlich den Priester, den Kupfermenschen, welchen du in der Quelle sitzen und die Sache zusammensetzen siehst. Jenen aber siehst du bald nicht mehr als Kupfermenschen, denn er verwandelt sich in bezug auf die Farbe seiner Natur und ist ein Silbermensch geworden, welchen du über ein kurzes, wenn du willst, als Goldmensch haben wirst.

Das Bewusstsein ist geweitet. Das seine engen Grenzen erkennende Ich wurde durch die Konfrontation mit dem überwältigend Größeren, mit den naturgegebenen Gesetzmäßigkeiten, zum Selbst. In der Symbolsprache: Der geopfert Homunculus wurde zum Kupfermenschen, dieser zunächst zum Silbermenschen, danach zum Goldmensch. Damit ist ein Zustand erreicht, der außerhalb der Ordnung der Zeit besteht. Dieser wird im vorliegenden Text durch den steinernen Altar symbolisiert, in einer anderen Schrift des Zosimos durch den „etesischen Stein“⁶³. Dieser Stein ist ein *lapis philosophorum*, er steht am Anfang wie auch am Ende.

Die alte Alchemie ist eine gute Lehrmeisterin in ganzheitlichem Denken.

Aurora Consurgens. Die aufsteigende Morgenröte als Symbol der Gegensatzvereinigung

Einer der merkwürdigsten alchemistischen Texte des lateinischen Mittelalters beginnt mit folgenden Worten: *INCIPIT TRACTATUS AURORA CONSURGENS INTITULATUS BEATI THOMAE DE AQUINO*. (*Beginn des Traktats des seligen Thomas von Aquin mit dem Titel „Aufsteigende Morgenröte“*)⁶⁴ Der Traktat wird also dem berühmtesten Aquitaner, nämlich

⁶³ Die Etesien waren die in Ägypten alljährlich zur Sommerszeit von Norden her kommenden, angenehm kühlenden und Fruchtbarkeit versprechenden Winde, fielen sie nämlich mit der Nilflut zusammen. Nach einer Theorie des Thales von Milet waren diese Winde Ursache des Aufstaus der meerwärts flutenden Wogen, der sogenannten „Nilschwelle“. (Heute wissen wir, dass die Schneeschmelze im Quellgebiet des Nils das Phänomen verursachte.) Da der Nil durch Osiris personifiziert wurde, ist anzunehmen, dass das Adjektiv „etesisch“ im Zusammenhang mit dem Osiriskult die jährliche Naturerneuerung bedeutete.

⁶⁴ Siehe M.-L. v. Franz, *Aurora Consurgens*, in: C. G. Jung, Gesamtausgabe Bd. 14/3, Walter Verl. Olten, 2. Aufl. 1978.

dem „Doctor angelicus“ Thomas (1225 – 1277) zugeschrieben. Ganz absurd ist die Zuordnung nicht. Mütterlicherseits entstammte Thomas dem kaiserlichen Haus der Staufer, in welchem nachweislich die Alchemie hoch im Kurs stand. Thomas studierte zunächst in Neapel, wo die salernitanische medizinische Schule gelehrt wurde. Von 1245 bis 1252 war Thomas ein Schüler des an mineralogischen und alchemistischen Fragen sehr interessierten Albertus Magnus. Die bisher nicht eindeutig zu beantwortende Frage lautet: ist es möglich, dass der nüchterne, scholastische Autor vieler theologischer Texte (z.B. der „*Summa*“) einen derart exaltierten alchemistischen Text, in dem Hingabe, Liebe und Sexualität gepriesen wird, geschrieben oder diktiert hat? Aber eben in der berühmten *Summa* könnte man denn doch Hinweise finden, dass ein Zusammenhang immerhin denkbar wäre, man denke nur an Sätze wie: „*Amor ... est prima passionum concupiscibilis...*“ (*quaest. 25*) Und in den *questiones 26* heißt es gar: „...*amor est virtus unitiva*“.

In der „Aurora Consurgens“ wird die höchste denkbare Synthese thematisiert, die denkbar ist, die Vereinigung der im grauenhaft ekeligen Schlamm versunkenen menschlichen Seele mit der göttlichen Sophia, der Weisheit Gottes. Darum geht es in diesem *Theatrum chymicum*: Die menschliche Seele durchheilt gemäß ihrer *concupiscentia*, ihrem (sündhaften) Begehren folgend, alle Höhen und Tiefen des Seins. Folgerichtig beginnt die Synthese mit der ersten Parabel von der schwarzen Erde: „*Von weitem betrachtend sah ich eine große Wolke, welche die ganze Erde schwarz überschattete*“. Der Beginn ist durch die *nigredo* gekennzeichnet, die Schwärze; diese ist eine *putrefactio*, eine Faulung. Die Wasser werden faulig vom Anblick der untersten Hölle und vom Schatten des Todes. Nur aus der tiefsten Verzweiflung kommt die Kraft für die gewünschte Änderung.,

Nach vielen Reinigungsprozeduren erschaut der mit der Symbol „Seele“ eigentlich gemeinte Adept „ein wunderbares Licht“. In der fünften Parabel „Vom Schatzhaus, das sich die Weisheit auf dem Felsen erbaute“ wird darauf hingewiesen, dass die Elemente harmonisiert werden müssen, sie müssen ins Gleichgewicht kommen.

Das Denkwürdigste ist das Ende der Aurora. Am Schluss steht die Vision der Hochzeit, der als „Geliebte“ angesprochenen *Sapientia Dei* mit dem liebenden Menschen. Die siebte Parabel „Vom Gespräch des Liebenden mit der Geliebten“ ist eine Paraphrase auf das Hohelied des König Salomon. Zunächst ruft der Liebende *de profundis*:

Wendet euch zu mir von ganzem Herzen und verwerft mich nicht darum, weil ich schwarz bin und dunkel... die Abgründe haben mein Antlitz bedeckt und die Erde ist verdorben und verunreinigt in meinen Werken, indem Finsternis ward über ihr, da ich versunken bin im Schlamm der Tiefe und meine Substanz nicht erschlossen worden ist. Daher rufe ich aus der Tiefe, und aus dem Abgrund der Erde spricht meine Stimme ...“

Die göttliche Braut zögert nicht, diesem Rufe zu folgen:

Audite omnes gentes, hört zu ihr Völker, merket auf alle, die ihr den Erdkreis bewohnt: mein roter Freund hat zu mir gesprochen, er hat gebeten, und seine Bitte wurde erfüllt: Ich bin die Blume des Feldes und die Lilie in den Tälern, ich bin die Mutter der schönen Liebe, der Erkenntnis und der heiligen Hoffnung. Ich bin der Weinstock, der wohlriechende liebliche Früchte trägt... Ich bin die klügste der Jungfrauen, die hervortritt gleich der leuchtenden Morgenröte, auserwählt wie die Sonne, schön wie der Mond...

Wer würde nun nicht gerne dabei sein, wenn es darum geht:

Komm also meine Geliebte, lass uns auf dein Feld hinausgehen und in den Gehöften weilen, frühmorgens wollen wir aufstehen zum Weinberg, da die Nacht vorgerückt ist und der Tag bald naht. Wir wollen nachsehen, ob dein Weinberg Blüten trug, und ob deine Blüten Frucht getragen haben, dort wirst du mir deine Brüste reichen, und ich selber habe für dich alle alten und neuen Früchte aufbewahrt; an ihnen wollen wir uns also erfreuen und ohne Zögern alle Güter genießen, dieweil wir jung sind. Mit köstlichen Weinen und Salben wollen wir nicht kargen,

und keine Blume soll uns entgehen, uns damit zu bekränzen: zuerst mit Lilien und nachher mit Rosen, eh sie verwelken. An keiner Wiese soll unsere Lust vorbeigehen, und keiner von uns bleibe der Fröhlichkeit fern; Allenthalben wollen wir Zeichen unserer Fröhlichkeit zurücklassen, **denn dies ist unser Teil und unser Los, dass wir in liebender Vereinigung leben und im fröhlichen Reigen verkünden: Siehe, wie gut und lieblich ist es, zu zweit in Einem zu wohnen.**

An dieser Stelle sein die Frage erlaubt: Ist diese Art von Alchemie nicht eine *philosophia perennis*, eine ewige Philosophie, die nicht vergessen werden darf, die - so wie es im Text steht - „vom ersten bis zum letzten Menschen“ weitergegeben werden muss? Der entscheidende Gedanke der „Aurora“ ist wohl dieser: „*Denn über sie (die Sapientia Dei) nachzudenken, ist ein völlig der Natur entsprechendes und subtiles Wahrnehmen, das sie zur Vollendung bringt.*“ Der Alchemist soll sich demnach nicht nur von der Weisheit leiten lassen, nein, **sein Denken bringt sie, die Weisheit Gottes erst zur Vollendung** – und zwar durch einen *sensus valde naturalis et subtilis*, also eine feine natürliche Empfindung. Dazu kommt noch, dass die *Sapientia Dei* die materielle Welt durchweht, denn sie ist die Mittlerin zwischen den Elementen. Sie sagt von sich:

Ich bin die Mittlerin zwischen den Elementen, die eines mit dem anderen versöhnt: was warm ist kühle ich ab; was trocken ist, mache ich feucht; was hart ist, weiche ich auf und umgekehrt... Ich biete meinem Geliebten den Mund, und er küsst mich – er und ich sind Eins – wer will uns scheiden von der Liebe? Niemand, weit und breit – denn stark wie der Tod ist unsere Liebe.

Die Weisheit Gottes, die in der Heiligen Schrift als Gespielin Jahwes geschildert wird, die „mit IHM weilte von Anbeginn“, diese *Sapientia Dei* wird in der „Aurora“ der dunklen Erde, der unreinen *materia prima*, der chaotischen *hyle*, vermählt. Die alchemistische Schlussfolgerung: Der Mensch soll mittels seiner Möglichkeiten den weiblichen Aspekt der Gottheit mit Gott wieder vereinen.

Vom hylealischen Chaos

Die letzten bedeutenden alchemistischen Texte wurden an der Wende vom 16. zum 17. Jahrhundert geschrieben, viele von ihnen am Hof des Kaisers Rudolf II. in Prag oder in der Residenz des bedeutenden böhmischen Magnaten Wilhelm von Rosenberg im Kummaw. Heinrich Khunrath, dessen Text „Vom hylealischen Chaos“ behandelt werden soll, hat beiden Förderern der Alchemie gedient.

Wer war Heinrich Khunrath? Heinrich Khunrath wurde 1560 in Leipzig geboren. Schon sehr früh, nämlich im Alter von 15 Jahren, ist er durch seinen Bruder mit der Alchemie in Berührung gekommen. Khunrath studierte zunächst in Leipzig, danach in Basel. Am 27. Juni 1589 traf er mit dem berühmten englischen Alchemisten John Dee in Bremen zusammen. Er muss damals schon sehr bekannt gewesen sein, vermerkt doch Dee über diesen Besucher in seinem Tagebuch: "*the famous Hermetique Philosopher Doctor Henric Kunrath*". Vielleicht von Dee ermuntert - der Engländer war gerade auf der Heimreise von seinem Aufenthalt bei Rosenberg in seine Heimat - ging Khunrath nach Böhmen. Am 15. Dezember 1591 erhält Khunrath eine Anstellung als Hofarzt Wilhelms von Rosenberg. Sein Dienstherr stirbt allerdings schon einige Monate danach, nämlich am 31. August 1592, was für viele, vor allem die Katholiken in Böhmen, einen schweren Verlust bedeutet. Ein Chronist vermerkte damals: "*Sein Hinscheiden kündigt einen Wandel im Königreich an*". Nach dem Tode des Wilhelm von Rosenberg soll Khunrath kurze Zeit als Leibarzt Rudolfs angestellt gewesen sein. 1597 wohnt Khunrath in Hamburg. 1601 hält er sich in Berlin auf, 1603 in Magdeburg, 1604 in Gera. Khunrath starb 1605 *immatura morte praeventus* in Leipzig oder Dresden, also vor der Zeit, wie der Herausgeber des "Amphitheaters", Erasmus Wohlfahrt, sagt.

Heinrich Khunrath stellte viele alte alchemistische Symbole in neue Sinnzusammenhänge. Uraltes erscheint in seinen Werken in einem neuen Licht. 1595 erschien in Hamburg zum ersten Mal das berühmteste Werk Khunraths, das *"Amphitheatrum Sapientiae Aeternae Solis Verae, Christiano-Kabalisticum, Divino-Magicum, nec non Physico Chymicum..."* in kleiner Stückzahl mit prachtvollen handkolorierten Stichen im Druck. (In einer um vier Kupferstiche erweiterten Fassung wurde das Werk 1609(?) in Hanau nachgedruckt.) Schon der Titel ist bemerkenswert, geht es hier doch um ein *amphitheatrum*, d.h. ein Doppeltheater, eine doppelte *performance*. Vordergründig ist wohl die praktisch-aktive Tätigkeit im Laboratorium und die kontemplativ-meditative im Oratorium angesprochen.

Khunrath vereinigte in diesem Werk all seine pansophisch-alchemistischen Gedanken. Es kommt der Grundgedanke des Rudolfinischen Prag um 1600 zum Ausdruck: Der Künstler soll zusammen mit dem Naturforscher einen Zugang zu den Geheimnissen der Natur eröffnen. Die Kunst soll gewissermaßen einen magischen Schlüssel bereitstellen, sie diene als zweiter Erkenntnisweg.

1596 erschien die *"Confessio de chao physico-chemicorum catholico"* Khunraths in Magdeburg. Ein Jahr später wurde das Werk, das in einem sehr engen Zusammenhang mit der Emblemsammlung *"Amphitheatrum sapientiae aeternae"* steht, indem es die dort veröffentlichten Kupferstiche ausdeutet und interpretiert, in einer erweiterten Fassung ebenfalls in Magdeburg neuerlich aufgelegt - und zwar mit dem Titel *"Vom Hylealischen... Chaos"*. Aus der Vorrede erfährt man, in welcher Weise sich Khunrath mit der Alchemie befasst hat. Der Autor berichtet, er habe 23 Jahre lang handschriftliche wie gedruckte, *"böse und gute Alchymistische Bücher"* durchgelesen. Er habe *"viel wunderliche Recepta und Prozesse abgeschrieben und laboriret"*. Khunrath betont seine praktische Laboratoriumserfahrung, da er *"viel schöne Fuder Kohlen zum Theil selbst in Chymischem Laboratorio verbrennt/ zum Theil durch andere... verbrennen lassen;"* *"Ich hab"*, schreibt er weiter, *"die Hände selbst ... müssen in Laim und Kohlen schlagen, Ofen bauen/ und zur Veränderung wiederum einreissen; auch viel große und kleine Destillir=Gläser, dergleichen Krüge und Retorten in der Arbeit zerbrechen... ehe ich innen worden/ was Arg-Chymia und Alchymia sey."* Schlussfolgerung all seiner Bemühungen nach so vielen Jahren ist, *"das[s] Transmutatorie nicht seyn hat können"*. All die Vorschriften von Augmentationen für Tinkturen zur Umwandlung von unedlen Metallen in Gold sind Betrug, Lüge, Irrtum! (Kap. X) Wenn man mit Quecksilberarbeiten Gold und Silber machen möchte, dann geht das nur so, indem man aus dem Quecksilber ein Präzipitat herstellt, um damit Leute von der Franzosenseuche zu kurieren; Der Reichtum wird sich dank der dafür erhaltenen Honorare einstellen. (Kap. IX)

Die alchemistische Lehre ist dennoch nicht sinnlos, im Gegenteil. Khunrath deutet die Alchemie, zum Teil im Sinne des Paracelsus, zum Teil im Sinne John Dees um: Es liegt an uns, den jetzigen Himmel und die jetzige Erde durch Umschmelzen mit Feuer von allem Unreinen zu reinigen. Eine glorifizierte neue "Christalline" eines neuen Himmels und einer neuen Erde wird entstehen. Dies wird gelingen, wenn wir unser Erkenntnisbestreben auf das **Licht der Natur** richten. Ganz in der Diktion alter gnostischer Ideen verkündet Khunrath, dass in der Tiefe der Materie dieses Licht als ein *"heller Schein/ Feuer-Funck oder Blitz"* vorhanden sei. Dies sei das wahre *Aqua permanens semperque vivens* (Kap. II), welches sich in den vielfältigsten Gestalten zeigen kann. Wer zu dieser Erkenntnis vorgedrungen ist, der kann große Dinge verrichten (Cap. VII). Khunrath schreckt auch keineswegs davor zurück, den theologischen Stellenwert des alchemistischen Symbols des *lapis* anzugeben: er ist der *filius macrocosmi* und steht dadurch in einem Bezug zu Christus, welcher als *filius microcosmi* bezeichnet wird. Der *lapis* ist demnach der in der Materie verborgene Gott! Damit ergibt sich

ein Pendant zum Erlösungswerk Christi: Das Lesen im Buch der Natur entspricht der Synthese einer Universalmedizin. Das Erkennen des *"servators der großen Welt"* ist für Khunrath Voraussetzung für die Wandlung und die Höherentwicklung des Menschen.

So entsteht die Arkansubstanz: *„Haec Praeparatio est... : Hoc, solve ; Coagula : Hoc, solvite corpora in Aquas, & Aquas coagulate in corpora. Hoc, fac Fixum volatile, & Volatile fixum ... Durch dieses Ens materiale Primum oder Materiam primum, werden ... warhafftig und radicaliter ... zu Grunde und Wurtzel auch reducirt / und wider zuriicke bracht die Metallen; Edle und andere Steine...“ (Cap. VII: Dies ist die Bereitung: Es heißt: Löse und verfestige! Es heißt: löset die Körper in Wässer und die Wässer verfestigt in Körper. Es heißt: Mache das Feste flüchtig und das Flüchtige fest...)*

Bei der Herstellung der Arkansubstanz werden alle Gegensätze ausgeglichen, fallen die Gegensätze in eins, gibt es keine Unterscheidung mehr, verschwindet die Grenze zwischen Physischem und Psychischem, zwischen Objekt und Subjekt.

Wie lautet die entscheidende Stelle in der Novelle „Der Starost“ bei Werner Bergengruen? *„«Solve et coagula, dissolve radicaliter.» Und Gott tat nach seinem Worte.“* Der Starost, der eigentlich das große Alkahest herstellen wollte, das Universallösungsmittel, erkennt, dass das Ziel seines jahrelangen Laborierens die Auflösung seines eigenen Lebens war. Er stirbt.

Das Werk der Natur und das alchemistische Laborieren gleichen einander. Alle Ängste werden verflüssigt, alle Hoffnungen verflüchtigen sich, flüchtige Träume werden real. Der Mensch lebt seiner Natur gemäß. Alchemie ist nichts anderes als eine Innwerden der Gesetze der Natur. Das ist die eigentliche Naturerkenntnis.

Khunraths Einsicht: *„Die Natur lässt sich nicht pressen noch zwingen / wie du Phantast vermeynet ; oho / weit gefehlt ! Sie herrschet über uns / wir nicht über sie; sie gebeut und schreibt uns vor / wie wir laboriren sollen / wir habe ihr nichts zu gebieten ; wir müssen der Natur Gebot und Befehl folgen. ... Auff solche Weise / wie gesagt / kann man Naturgemäß=Alchymischer Weise wol haben Silberne und auch Guldene ... Früchte.“ (Cap. IX)*

Schlussbemerkung

Wie sagte Wolfgang Pauli in einem Vortrag 1955, in dem er sich unter anderem mit den Heilserwartungen der alten Alchemie auseinandersetzte, drei Jahre vor seinem Tod: *„Wir können sagen, daß die heutige Zeit wieder einen Punkt erreicht hat, wo die rationalistische Einstellung ihren Höhenpunkt überschritten und als zu eng empfunden wird. ... Eine Flucht aus dem bloß Rationalen, bei dem der Wille zur Macht als Hintergrund niemals ganz fehlt, in dessen Gegenteil, z.B. eine christliche oder buddhistische Mystik, ist naheliegend und gefühlsmäßig verständlich. Ich glaube jedoch, daß demjenigen, für welchen der enge Rationalismus seine Überzeugungskraft verloren hat und dem auch der Zauber einer mystischen Einstellung, welche die äußere Welt in ihrer bedrängenden Vielheit als illusorisch erlebt, nicht wirksam genug ist, nicht übrig bleibt, als sich den verschärften Gegensätzen in der einen oder anderen Weise auszusetzen. Eben dadurch kann auch der Forscher, mehr oder weniger bewußt, einen inneren Heilsweg gehen. ... Ich halte die Zielvorstellung einer Überwindung der Gegensätze, zu der auch einen sowohl das rationale Verstehen wie das mystische Einheitserlebnis umfassende Synthese gehört, für den ausgesprochenen oder unausgesprochenen Mythos unserer eigenen, heutigen Zeit.“*

Ein Versuch in diese Richtung sei gewagt: In einer Reflexion der Grundaussage der frühen Alchemie könnte man so weit gehen zu sagen, dass es sich hier im Grunde nicht um ein Wissen des Menschen über die Natur handelt, sondern es ist umgekehrt: Indem der Mensch

sich einlässt auf eine Theorie (*theoria* bedeutet meditative Schau) der Natur, passiert Unerwartetes: Die Materie denkt über die Materie nach, soll heißen: Die Natur denkt, indem sie den Menschen zu ihrem Werkzeug macht, über sich selbst nach. Und sie staunt.

Ich denke, das ist ein wesentlicher Punkt, der – wenn man will – am Schlusspunkt aller chemischen Reflexionen stehen kann. Zufriedenheit ergibt sich dadurch, dass man sich, wenn man zu einer solchen Auffassung durchgestoßen ist, nicht mehr ausgestoßen fühlt aus den ablaufenden Prozessen, sei es das Aufleuchten einer Supernova in irgendeiner Galaxie, oder sei es einfach nur ein Windhauch.

Erde, Wasser, Feuer, Luft.

Die Frage nach der Zahl der Elemente

Der Mensch soll den elementischen stofflichen Leib in die elementische Schule schicken...

Paracelsus, *Astronomia magna*

Woher haben die Dinge ihre Entstehung? Worin wurzeln sie? Woraus sind sie aufgebaut? Dies waren seit jeher wichtige Fragen. Frühe griechische Dichter haben Antworten gegeben. Der im 8. Jahrhundert lebende Homer lässt Hypnos, den Gott des Schlafes, im XIV. Gesang der Ilias (Vers 245) beteuern:

Jeden anderen leicht der ewigwährenden Götter
Schläfet´ ich ein, ja selbst des **Okeanos** wallende Fluten,
Jenes Stroms, **der allen Geburt verleiht und Erzeugung**,
nur nicht Zeus Kronion...

Der Ursprung der Dinge - folgen wir Homer - liegt im Ozean. Anders sieht dies der Dichter Hesiod (740 – 670 v. Chr.). Hesiod meinte in seiner *Theogonie*, als erstes wäre *chaos* (der gähnende Spalt) entstanden. Aus dem *chaos* wären *erebos* (die Finsternis) und *nyx* (die Nacht) hervor gegangen.

Die Geburt des *kosmos* (der Zierde) aus dem *chaos* ist im klassischen Griechenland die gängige Vorstellung gewesen. Ein gnostischer Text des Hag-Hammadi-Codex allerdings belehrt uns, dass die Griechen irren, wenn sie glauben, es hätte vor dem *chaos* nichts gegeben. Das *chaos*, verrät uns der Text, wurzelt im uranfänglichen Schatten, in der Finsternis. Dieser Text, der 1945 in der Nähe des Nilknies nördlich von Luxor gefunden wurde, kann seine ägyptische Herkunft nicht verleugnen. In alten Ägypten waren die Priester der Meinung, dass zu Anbeginn der Welt alles mit dem Urganne *Nun* und der Urfinsternis *Kekuzemau* erfüllt gewesen sei. Die Welt beginnt mit dem Akt der „Hochhebung des *Shu*“: Der Luftgott *Shu* stemmt - auf der Erde (*Geb*) kniend - die Himmelsgöttin Nut in die Höhe, so dass die himmlischen Urganne zurückweichen müssen. Der Sonnengott Ra fährt als feurig-glühender Sonnenball in einer Bark über den Himmelozean. Ein Raum ist entstanden, in den hinein etwas existieren kann.

Wie beurteilten die frühen griechischen Philosophen die Frage nach dem Ursprung? **Thales von Milet** (624 – 546 v. Chr.), ein berühmter Techniker, Astronom und zudem Kaufmann, der in Ägypten gewesen ist, fragt nach einer einheitlichen ersten Ursache, nach dem einen Prinzip. Er findet es im Wasser und er spricht vom Wasser als dem Urgrund aller Dinge.

Der ebenfalls aus Milet stammende und ein wenig jüngere **Anaximenes** vertrat die These, das Prinzip der seienden Dinge sei der *aer*, die Luft, der Dunst, der Nebel. Im Sinne des ägyptischen Schöpfungsmythos ist dies nicht unsinnig. Der Kosmos als ganzer existiert im *aer*. Draußen, im Nichtseienden, ist der *okeanos*.

Eine periodische Wasser-Erde-Entstehungstheorie betrat **Xenophanes** (ca. 570 – 475 v. Chr.). Für den aus Ephesos stammenden **Heraklit** (um 544 – 480 v. Chr.) ist der Inbegriff der ewigen Ordnung das immerdar aufgehende Feuer *πυρ*. Heraklits Denken ist von der Vorstellung bestimmt, dass die große Göttin von Ephesos, Artemis, zwei Fackeln in der Hand hält, eine nach oben gerichtete und eine gesenkte. Artemis ist die Göttin der Natur und gleichzeitig die

des schnellen Todes. So spricht auch Heraklit von einer zweifachen Natur, einer erzeugenden, einer vernichtenden.

Parmenides aus Elea (515 – 445 v.Chr.), ein jüngerer Zeitgenosse des Heraklit, geht von einer einem Seienden ohne zeitlichem Anfang und ohne derartigem Ende aus. Das Seiende ist nicht aus dem Nichtseienden entstanden, es ist auch nicht unterteilt, vielmehr ganz zusammenhängend. Man hat es sich in Form einer wohlgerundeten Kugel, als Sphairos, vorzustellen. Über das Nichtseiende ist nicht zu sprechen. (Parmenides klammert in gewisser Weise den Tod aus den Betrachtungen aus. Seit Parmenides ist es für Philosophen unanständig, über den Tod, über Mythen und irgendwelche Spekulationen zu sprechen.) Es gibt nach Parmenides zwei gestaltende elementare Formen: „Licht“ und „Nacht“. Parmenides führt als erster den Begriff der Mischung ein. Nach Parmenides sind Veränderung und Vielheit eigentlich Sinnestäuschungen.

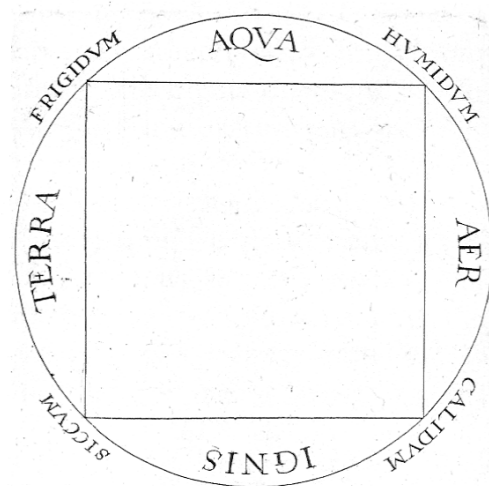
Eine Art Kompromissformel sucht **Empedokles** von Agrigent (485 – 425 v.Chr.). Die Vielfalt der sichtbaren Dinge erklärt er als mannigfaltige Mischung ewig unveränderlicher „Grundwurzeln“: *„Die vier Wurzelgebilde aller Dinge höre zuerst: leuchtend-heller Zeus und lebensspendende Hera und Aidoneus und Nestis, die mit ihren Tränen den sterblichen Quellstrom befeuchtet.“* (Fragment bei Aetios I, 3,20) Gott Zeus entspricht dem Element Feuer; die Göttin Hera, Zeus' Gemahlin, bedeutet die Erde; Aidoneus ist der Unsichtbare, d.h. die Luft; Nestis, die „Fließende“, ist eine sizilianische Quellgöttin, sie repräsentiert das Wasser. Nach Empedokles ist demnach die Grundsubstanz des Kosmos unwandelbar. Was wir an stofflichen Veränderungen beobachten, ist lediglich eine Änderung des „Mischungsverhältnisses“. Für diese Änderung stehen zwei Grundkräfte $\phi\lambda\iota\alpha$ (Liebe) und $\nu\epsilon\iota\kappa\omicron\varsigma$ (Hass) zur Verfügung. (Wir können uns unter diesen Grundkräfte Anziehung und Abstoßung vorstellen.)

Der faszinierende Ansatz, die Vielfalt und Veränderlichkeit der Dinge als wechselnde Konstellationen von unveränderlichen Komponenten aufzufassen, wurde auch von **Platon** (427 – 347 v.Chr.) beibehalten. Platon scheint der erste gewesen zu sein, der *expressis verbis* von Elementen sprach. Dazu ist zu bemerken, dass das Wort „Element“ die lateinische Übersetzung des griechischen Wortes für Buchstabe $\sigma\tau\omicron\iota\chi\epsilon\iota\omicron\nu$ darstellt, wobei letzteres in unserer heutigen „Stöiometrie“ weiterlebt. Hinter einem $\sigma\tau\omicron\iota\chi\epsilon\iota\omicron\nu$ steht das Bild des Vorschreitens in einer Reihe. Das lateinische Wort *elementum* bedeutet wahrscheinlich nichts anderes die Abfolge der Buchstabenreihe LMN im „Alphabet“, wobei als besondere Pointe hinzuzufügen ist, dass in unserem Wort „Alphabet“ der gleiche Gedanke zu finden ist.

Platons Materietheorie im Timaiosdialog ist stark von pythagoräischer Mathematisierung geprägt, Allerdings gilt es hier ein Problem zu lösen: Es gibt vier Elemente, aber fünf regelmäßige Polyeder: Platon löst dieses Rätsel genial. Er ordnet den Elemente vier der Polyeder, nämlich den Tetraeder, den Ikosaeder, den Würfel und den Oktaeder zu und behauptet, der Pentagondodekaeder stehe für das Ganze.

Körperlich können die Grundkörper nicht mehr geteilt werden, da aber Körper von Flächen umgrenzt werden, macht es Sinn, über die Symmetrie dieser Flächen nachzudenken. Es stellt sich heraus, dass Feuer, Luft und Wasser ineinander übergehen können, weil die ihnen zugeschriebenen Körper von lauter **gleichseitigen Dreiecken** konstituiert werden. Das Element Erde bleibt nach Platon außerhalb der Umwandlungsreihe, weil die sechs quadratischen Flächen des der Erde zugeordneten Würfels nur aus je zwei **gleichschenkeligen Dreiecken** zu bilden sind.

Aristoteles (384 – 322 v. Chr.), der Schüler Platons, gibt uns in seiner Schrift „De coelo“ (C.3.302a, 15) eine präzise Definition, was unter einem Element eigentlich zu verstehen ist: *“Es sei also ein Element der Körper, in welchen die übrigen Körper zerlegt werden [können], ... wobei aber [das Element] selbst nicht ... in anderes zerlegbar ist.“* Aristoteles verbindet in seiner, von den Phänomenen ausgehenden Lehre das Konzept der vier Elemente des Empedokles mit gegensätzlichen physikalischen Grundqualitäten, nämlich der Wärme gegenüber der Kälte und der Trockenheit als Gegenspieler der Nässe. Im Zentrum seines Denkens steht der Begriff der *υλη*, der Urmaterie. Allen wahrnehmbaren Körpern liegt eine *υλη* zugrunde, die selbst zwar keine Eigenschaften mehr hat, die aber dennoch in die Gegensätze von nass-trocken und heiß-kalt eingespannt ist. Das Ganze ist in Bewegung zu denken, ausgelöst durch „Schwere“, wobei die eigentliche Ursache aller Wandlung in der Rotation der Fixsternsphäre und der Bewegung der Sonne auf der Ekliptik zu sehen ist. Unter den Elementen findet folglich ein beständiger Kreislauf statt. Das **warm-trockene** Feuer geht in **warm-feuchte** Luft über, diese in **kalt-feuchtes** Wasser, das Wasser in **kalt-trockene** Erde, dieses wiederum in **warm-trockenes** Feuer. (Jeweils eine Qualität bleibt bei jeder Umwandlung erhalten.)



Michael Maier, De circulo physico Quadrato, 1616

Der schärfste Kritiker der peripatetischen Lehre war **Titius Lucretius Carus** (Lukrez, 95 – 55 v. Chr.) In seiner Lehrdichtung „de rerum natura“ polemisiert er gegen einen Elementbegriff, bei dem sich die elementaren Partikel ineinander umwandeln können: *„denn das dürfen Ursprungskörper auf keinen Fall sich erlauben“* (I, 781). Lukrez knüpft an die atomistische Lehre Epikurs an. Epikurs Thema war die vielfältigste Bewegungsmöglichkeit unterschiedlicher Atome.

Dem römischen Arzt **Galen**, er lebte im 2. Jahrhundert n.Chr., ist eine geistige Verbindung der Elementelehre mit der Theorie der vier Körpersäften zu verdanken. Seine Humoralpathologie wurde später von der arabischen Medizin übernommen.

Element	Qualität	Körpersaft	Temperament
Wasser	kalt & feucht	Schleim, <i>phlegma</i>	Phlegmatiker
Luft	heiß & feucht	Blut, <i>sanguis</i>	Sanguiniker
Feuer	heiß & trocken	gelbe Galle, <i>cholera</i>	Choleriker
Erde	kalt & trocken	schwarze Galle, <i>melancholia</i>	Melancholiker

Konkurrierende Konzepte

Gleichsam in Konkurrenz mit der Vierelementelehre gab es zur Zeit der frühen alexandrinischen Alchemie auch eine duale Theorie des Aufbaus der Materie, die Schwefel-Quecksilber-Theorie. Man kann dies auch so sehen, dass beide Theorien eigentlich keinen Widerspruch darstellten, vielmehr kann die Schwefel-Quecksilber-Theorie als eine Art Kurzfassung der Lehren der griechischen Philosophen gelesen werden. Das sich wegen seiner Wärmeleitfähigkeit kalt anführende Quecksilber und der heiß-feurige (weil brennbare) Schwefel wurden als Typen der Paare **Wasser/Erde** bzw. **Luft/Feuer** mit den sie verbindenden Eigenschaften der **Kälte** und **Wärme** angenommen.

Schon sehr früh finden wir in der spätantiken Alchemie eine weitere Ansicht, die weniger gut zur empedokleischen Elementelehre passte, dass nämlich die Dinge alle aus „Körper“, „Seele“ und „Geist“ bestünden. Diese Theorie stammt aus der uralten ägyptischen Totenbuchliteratur. Die Ägypter nannten der Körper *khat*, was soviel wie „etwas der Verwesung Anheimgegebene“ bedeutet. Durch Rituale, Gebete und Einbalsamierungen der Priester, wird der Körper des Toten befähigt in einen neuen Zustand überzuwechseln: Ein unzerstörbarer Körper soll entstehen, der die Kraft hat sich mit seiner „Seele“ zu unterhalten. Die ätherische Seele *ba* erfüllt schließlich den Körper mit neuem Leben, so dass er als *sahu* in den Himmel aufsteigen kann.

Zur Zeit des alten ägyptischen Reiches konnten selbstverständlich nur die Pharaonen nach ihrem Tode in diesen Zustand überwechseln; in spätere Zeit war dies auch anderen Sterblichen möglich, wenn auch nur nach einer Prüfung. Die Alchemisten der späthellenistischen Zeit dehnten die Idee der Auferstehung auf die gesamte Materie aus. Im sogenannten Komarios und Kleopatra-Traktat, der vermutlich aus dem 1. Jahrhundert stammt und der einer der Texte der ältesten Alchemie ist, stellt sich die Szene so dar, dass die Seele den Körper anredet:

Wach auf aus der Unterwelt, erhebe dich aus der Grabkammer, kleide dich in Geistigkeit und Gottesfurcht, denn die Stimme der Auferstehung hat dich erweckt und das Lebenselixier ist dir gegeben. Körper, Seele und Körper werden eins – eine unvergängliche göttliche Substanz.

Ergebnis ist ein unzerstörbarer Zustand, der mit dem Symbol *lapis*, Stein bezeichnet wird. Dies ist der kulturhistorische Hintergrund der *idée fixe* vom Stein der Weisen.

Die Lehre von der Körper-Seele-Geist-Trias wurde von der arabischen Alchemie übernommen. Gleichzeitig wurde auch die Vierelementelehre tradiert sowie das Schwefel-Mercurius-Lehrgebäude. Alle drei Lehren existierten nebeneinander. Daran änderte auch das lateinische Mittelalter nichts. Der Erfolg der Vierelementelehre ist wohl dadurch zu erklären, dass durch sie die wechselweise auftretenden Aggregatzustände der Substanzen als fest, flüssig, flüchtig (und auch feurig) gedeutet werden konnten.

Es hat im Spätmittelalter nicht an Versuchen gefehlt, die Theorien zu harmonisieren. Durch Hinzufügen von Substanzen wurde das duale Schwefel-Quecksilber-Theorem zu einem quaternalem erweitert. Ein Beispiel findet sich in der Handschrift M I 90/6, 49r der Universitätsbibliothek Salzburg aus dem Jahre 1484 mit dem Inzipt „... *ein ubung zu der alchamy*“, wo von vier Geistern, nämlich Quecksilber, Schwefel, Operment (Auripigment As_2S_3) und Salmiak (dem Salz NH_4Cl) die Rede ist.

Eine ähnliche Ansicht hat schon das um 1410-1419 auf dem Konzil von Konstanz entstandenen alchemistischen „Buch der Hl. Dreifaltigkeit“ verbreitet. Die Dreifaltigkeit, die hier propagiert wird, lautete: „geistlich“, „seelich“, „leichnamlich“, symbolisiert durch

„Mercurius“, „das Sublimierbare“ (gemeint ist der Schwefel) und „Stein“ (vielleicht das Stein-Salz).

Der berühmte Arzt Theophrastus von Hohenheim, genannt Paracelsus (1493 – 1541), der sich dafür einsetzte, dass die Alchemie sich in den Dienst der Medizin stellen sollte, kannte das „Buch der Hl. Dreifaltigkeit“. Er hat es wahrscheinlich um 1523 in Schwaz in Tirol gelesen. In seinem eigenen Buch „Paramirum“ schreibt Paracelsus:

Nun die ding zu erfaren so nempt einen anfang vom holz. Dasselbig ist ein leib; nun las brinnen, so ist das do brint der sulfur, das da raucht der mercurius, das zu eschen wird sal.

Paracelsus verbindet in der Folge das triadische System von Körper, Seele und Geist mit dem ursprünglich dualen Quecksilber-Mercurius-Konzept, indem er es erweitert, und stellt schließlich die daraus gebildete *tria prima* von *Mercurius*, *Sulfur* und *Sal* in das uralte gnostische Schema von Mikro- und Makrokosmos, wobei der Mikrokosmos der Mensch sein soll, der Makrokosmos das Universum.

	elementischer Leib	Weltseele	ewiger Leib
<i>im Mikrokosmos:</i>	Leib	Geist	unsterbliche Seele
<i>im Makrokosmos:</i>	Sal	Mercurius	Sulfur

Nun ist Paracelsus frei, die alten klassischen Elemente neu zu definieren. Dem Feuer spricht Paracelsus – wohlwissend um die Bedeutung der Feuerprobe in der Probierkunst der den Bergwerken angeschlossenen Laboratorien, in denen der Edelmetallgehalt der Erze untersucht wurde – die Rolle des Analysators von chemischen Substanzen zu. Und im Zusammenhang mit der Luft taucht bei Paracelsus öfters der Begriff des „Chaos“ im Sinne einer Vorstufe zum Begriff des „Gases“ auf.

Damit ist im Prinzip das Ende der Vierelementetheorie besiegelt und der Weg zum modernen Elementbegriff offen, stellen doch das Quecksilber der Schwefel so etwas wie Protoelemente im Sinne unseres heutigen Elementverständnisses dar. (Salz konnte erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts durch die Einführung der Schmelzelektrolyse (Davy) in seine Elemente zerlegt werden.) Die Jünger des Paracelsus versuchen sich noch gelegentlich mit Spitzfindigkeiten aus der Affäre zu ziehen. **Joseph Quercetanus** († 1609 in Paris) zählt zu den alten vier Elementen die paracelsischen hinzu. **Daniel Sennert** (1572 – 1637) meinte, dass sich die vier aristotelischen Elemente unter weitgehender Beibehaltung ihrer Formen in die paracelsischen drei vereinigen lassen.

Joachim Jungius (1587 – 1657) erklärt auf Grund von Analysen folgende Stoffe zu Elementen: Gold, Silber, Quecksilber, Schwefel.

Wie stark angeschlagen die peripatetische Elementetheorie um 1624 bereits war, geht daraus hervor, dass eine öffentliche Diskussion über Gegenthesen, die die Gelehrten **Biault**, **Villon** und **De Claves** in Paris durchführen wollten, mit Gewalt verhindert wurde. Bei Todesstrafe verbot der Gerichtshof zu Paris, etwas anderes als die alte approbierte Lehre vorzutragen.

Robert Boyle (1627 – 1691) verlangt in seinem „Sceptical Chemist“ (1661) die Klärung etlicher anstehender Fragen:

1. Ist das Feuer der Analysator aller Körper?
2. Sind Erhitzungsprodukte wirklich Elemente?
3. Wie groß ist die Zahl der Elemente?
4. Sind Salz, Schwefel und Quecksilber Elemente?
5. Gibt es überhaupt Elemente?

Schließlich schlägt Boyle eine eindeutige Elementdefinition vor, wobei er auf die alte Definition des Aristoteles recurriert.

Antoine Laurent de Lavoisier (1743 – 1794) kam auf Grund seiner gewissenhaften Untersuchungen bis zum Jahre 1789 auf immerhin 33 Elemente, von denen wir ohne Abstriche 26 noch heute gelten lassen können, darunter O, N, H, S, P, C, Cl, Sb; Ag,... Jene Spezies, die Lavoisier mit „Licht“ oder „Wärme“ bezeichnete, könnte man eventuell als Photonen durchgehen lassen.

Kurz nach dem Beginn des 20. Jahrhunderts gab es zahlreiche Versuche der Systematisierung der gefundenen Elemente, **Johann Wolfgang Döbereiner** stellte 1816 seine Triaden (z.B. Ca-Sr-Ba) auf. Auch **Gmelin** klassifizierte die Elemente nach Triaden. **Dumas** fasste 1851/52 weitere Elemente zu größeren Gruppen zusammen. **B. de Chancourtois** entwarf 1862 eine „tellurische Helix“, er ordnete die Elemente auf einer Schraubenlinie an. Ab 1863 hob **J. Newlands** hervor, dass nach jeweils sieben nach steigendem Atomgewicht angeordneten Elementen eines folgt, das dem Anfangsglied der Reihe chemisch ähnlich ist (Gesetz der Oktaven). Am 6. März 1869 verlas N. A. Menšutkin vor der Russischen Chemischen Gesellschaft - in Abwesenheit des Autors - ein Manuskript von **D. Mendeleev**, in dem sich Mendeleev mit dem Zusammenhang zwischen den Eigenschaften und dem Atomgewicht der Elemente befasste. Mendeleev konnte die Existenz noch nicht entdeckter Elemente auf Grund der Anschreibung auf seiner an die Vorgangsweise eines Buchhalters erinnernden Elementetafel vorhersagen. Ebenfalls vorhersagen konnte **Niels Bohr** einige Elemente dadurch, dass er 1922 die bekannten Elemente entsprechend ihrer quantentheoretischen Eigenschaften in einem fächerförmigen Periodensystem anordnete.

Eines der letzten entdeckten Elemente mit einer Ordnungszahl kleiner gleich 92 war das Element 84, das nach dem Vorschlag von **E. Segrè**, dessen Arbeitsgruppe es 1940 gelungen war, dieses Element künstlich herzustellen, Astat genannt wurde. **Berta Karlik** und **Traude Bernert** konnten 1942 das Element 85 in den drei natürlichen Zerfallsreihen des Radiums nachweisen. Mir war es vergönnt, Traude Bernert vor einigen Jahren persönlich kennen zu lernen. Leider ist Frau Bernert mittlerweile im Februar 1998 überraschend an einem Schlaganfall verstorben. Es war deshalb nicht mehr möglich, im Sinne einer *oral history* Frau Bernert ausführlich über ihre Arbeiten von 1942 zu befragen.

Zurück zur Frage: Was ist ein eigentlich ein Element? Die Entdeckung der Radioaktivität und der damit verbundenen Instabilität von Atomen hatte schon vor der Jahrhundertwende die alte Elementedoktrin hinweggefegt, obwohl sich Mendeleev Zeit seines Lebens weigerte, dies anzuerkennen. Gänzlich erschüttert wurde der klassische Elementbegriff, als **Ernest Rutherford** 1909, die aus dem Radium austretende α -Strahlung als Helium-Atomkerne identifizierte. 1910 wurden von **Soddy** die Isotope entdeckt, nachdem **Jean Charles de Marinac** (1817 – 1894, Professor für Chemie in Genf) die Isotope schon 1865 vorhergesagt hatte - angeblich.

Eine entscheidende Rolle spielte in dieser Zeit der Entdeckung der Isotope der in Wien geborene Chemiker **Fritz Paneth** (1887 – 1958). Paneths Definition des Isotops („Zur Frage

des isotopen Elemente“ 1914 zusammen mit G. v. Hevesy) setzte sich durch. Paneth, der sich immer wieder auch mit der Geschichte der Entdeckung neuer chemischer Elemente, speziell jener, die aus der St. Joachimsthaler Pechblende isoliert werden konnten, beschäftigt hat, stellt in seinen chemisch-philosophischen Schriften eine darüber hinaus gehende entscheidende Frage: In welchem Sinn kann man sagen, dass Elemente in einer Verbindung „weiterexistieren“? Der Autor spricht sich dafür aus, eine allzu naive, allzu realistische Sicht der Dinge hintanzustellen und den Begriff des Elementes zu reflektieren. Wir verwenden, sagt Paneth, den Begriff „Element“ in zweifacher Weise, nämlich einmal im Sinne eines „einfachen Stoffes“, dann wieder im Sinne eines „Grundstoffes“. Wir müssen uns dessen bewusst sein, dass nur der einfache Stoff observabel ist. Ein Grundstoff ist inobservabel, er gehört in den Bereich transzendentaler Noumena. Paneth verglich öfters die alte Alchemie, die die Transmutation unedler Metalle in Gold versuchte, mit der modernen Alchemie, der Atomphysik, bei die die Umwandlung eines Elementes in ein anderes nur eine Frage der Energie ist. Er sagte: *“The existence of a primordial matter ... is a distinct evidence that from earliest times eminent thinkers have rightly conceived the unity in the multiplicity of things. The great significance of modern alchemy is that it has enormously strengthened this early conception and has furnish convincing proof of the unity of the material universe.”*⁶⁵

Eine einschneidende Zäsur bei der Jagd nach den elementaren Teilchen bedeutete das Jahr 1928. Nachdem **Paul Dirac** (1902 – 1984) die Existenz von Antimaterie vorhergesagt hatte, wurde klar, dass die Entdeckung von neuen Elementarteilchen nichts anderes bedeutete als die Repräsentation der bei Streuexperimenten im Spiel gewesenen Energien. Durch Verwendung noch höherer Energien konnten beim Beschuss von Teilchen nicht kleinerer Bruchstücke erkennbar gemacht werden, sondern gelegentlich sogar größere. Damit war eigentlich das ursprüngliche Konzept des Bestehens der Materie aus kleinsten Bauteilchen obsolet geworden und man konnte sich, ganz im Sinne der Reflexion Platons im Timaiosdialog, auf die Suche nach Symmetrien als letzte Kostituenten der Materie machen. Diese Suche ist bis heute nicht abgeschlossen. Wir sind immer noch dabei, unsere Leptonen, Quarks etc. in ein Symmetrieschema einzufügen.

Carl Friedrich von Weizsäcker hat vor einiger Zeit einen interessanten Vorschlag gemacht. Im konsequenten Zuendedenken der Quantenphysik meint er, dass wir eigentlich mit zwei Elementarteilchen das Auslangen finden sollten: 0 und 1. Die letzten *stoicheia* des Kosmos sind – so Weizsäcker – die bits. Er spricht von Uralternativen, nennt diese Urteilchen Ure. Nach seiner Abschätzung gäbe es $1 \cdot 10^{80}$ Nukleonen im All und $1 \cdot 10^{120}$ Ure. Ein Nukleon bestünde somit aus $1 \cdot 10^{40}$ Uralternativen, hätte demnach den in Masse umrechenbaren Informationsgehalt von $1 \cdot 10^{40}$ bits. Von Weizsäcker fügt aber im gleichen Atemzug hinzu, dass diese Theorie der Uralternativen im Rahmen der Quantentheorie nur als eine Näherung aufzufassen ist. Diese Näherung wäre im Prinzip nicht so schlecht, da unser All sehr, sehr leer ist.

Wenn man bedenkt, dass wir Menschen uns die allermeiste Zeit nur auf der im Grunde beinahe nur zweidimensionalen Oberfläche unseres Planeten bewegen und über uns – von einer hauchdünnen zarten Gashülle einmal abgesehen – die Leere des Alls beginnt, dann kann einem schon bewusst werden, warum wir Menschen überhaupt auf die Idee von getrennten Elementen der Materie gekommen sind. Die fernen, voneinander scheinbar unabhängigen Sterne waren es wohl, die uns darauf brachten. Lebten wir im Inneren eines Neutronensternes, niemals wären wir auf so eine merkwürdige Idee verfallen. Denn, wie schon im Kapitel über Kant erwähnt, gilt in der Quantenphysik das Gesetz der Komposition: Seien A und B zwei

⁶⁵ A. F. Paneth, *Ancient and Modern Alchemy* in: H. Dingle and G. R. Martin a.a.O., pp. 3 – 19.

Objekte und C das aus A und B zusammengesetzte Objekt, so ist der Zustandsraum H_C von C das tensorielle Produkt der Zustandsräume von A und B.

In H_C ist aber die Menge derjenigen Zustände von C, in denen zugleich A und B einen scharfen Zustand haben, gleich der Nullmenge. Mit anderen Worten: Wir werden uns irgendwann vom Konzept der Zusammensetzung eines Objektes aus Elementen verabschieden müssen!

Verteilung und Entstehung der Elemente

Auf Grund spektroskopischer Beobachtungen ist eine Abschätzung der Häufigkeitsverteilung der Elemente im Universum möglich. Es fällt dabei besonders die im großen und ganzen exponentielle Abnahme der Häufigkeit mit steigender Protonenzahl, jedenfalls bis $Z = 42$, auf, danach wird die Funktion durch Fluktuationen überlagert. Diese Abhängigkeit zu interpretieren ist Grundvoraussetzung eines Verständnisses der Materie. Die verschiedensten Prozesse werden als Ursache angesehen:⁶⁶

- Prozesse im Sterninneren: Wasserstoff-, Helium, Kohlenstoffusionsprozesse; es bilden sich Kerne bis ${}_{24}\text{Mg}$;
- der α -Prozess, der bis zum ${}_{20}\text{Ca}$ -Atom führt;
- e-Prozesse, die bei Supernovae-Ausbrüchen ablaufen und das Vorkommen der Elemente von ${}_{22}\text{Ti}$ bis ${}_{29}\text{Cu}$ erklären;
- r-Prozesse, damit meint man die Absorption schneller Neutronen; man nimmt an, dass Isotope wie ${}^{36}\text{S}$, ${}^{46}\text{Ca}$ und ${}^{50}\text{Ti}$ nach diesem Prozess gebildet wurden;
- s-Prozesse, also die Absorption langsamer Neutronen unter Emission von γ -Strahlen, die im Inneren von Roten Riesen ablaufen und die die große Häufigkeit spezieller Isotope wie ${}^{138}\text{Ba}$, ${}^{208}\text{Pb}$, ${}^{209}\text{Bi}$ erklären können.

Beachtenswert ist die Frage nach der Menge der ganz schweren Isotope, beispielsweise ${}^{238}\text{U}$ und ${}^{235}\text{U}$. Das erste hat eine Halbwertszeit von $4,5 \cdot 10^9$ a, das zweite eine von $7,0 \cdot 10^8$ a. Die Halbwertszeiten liegen demnach größenordnungsmäßig im Bereich des geschätzten Alters des Universums. Nimmt man an, dass das gesamte auf der Erde vorhandene Uran durch einen r-Prozess während eines einzigen Supernova-Ausbruches gebildet wurde, so müsste dieses Ereignis vor $6,6 \cdot 10^9$ a stattgefunden haben. Wahrscheinlicher ist, dass mehrere Supernovae am Entstehen beteiligt waren. In jeden Fall aber scheint das Uran schon lange vor der Entstehung unseres Sonnensystems vor $5 \cdot 10^9$ a vorhanden gewesen zu sein.⁶⁷

Ist das nicht alles eigentlich unglaublich? Das Material des Laptops, auf dem ich all diese eintippe – ein Erzeugnis einer längst nicht mehr scheinenden Sonne. Die Kohlenstoffatome der Eiweißmoleküle meiner tippenden Finger – Schlacke eines glühenden Gasballs! Nicht nur, dass alles Leben als ein Epiphänomen unserer Sonne zu betrachten ist, die Erde als ganze ist materialmäßig ein Epiphänomen einiger – allerdings vergangener – Sterne.

Und wenn dies alles so ist, wer sind dann wir Menschen? Was treiben wir auf der hauchdünnen Oberfläche eines winzigen Planeten einer Sonne, die unter Billionen anderer derartiger Gebilde auf ungewisser Bahn durch den Raum treibt?

Schlussbemerkung

⁶⁶ N. N. Greenwood, A. Earnshaw, Chemie der Elemente, Verl. Chemie, Weinheim 1988, p. 14ff.

⁶⁷ Alle Angaben aus Greenwood und Earnshaw, „Chemie der Elemente“, VCH, 1988.

Die Vierelementetheorie mit ihrem überschaubaren Schema war Ausdruck einer Welt, in der sich der Mensch heimisch, vielleicht sogar geborgen fühlen konnte. Das heutige Weltbild ist keines, das heimatliche Gefühle aufkommen lässt. Und doch ist die heutige Naturwissenschaft nach einem langen Weg drauf und dran, wieder auf die Zusammengehörigkeit allen Seins hinzuweisen. Wird ihre Stimme gehört?

Bewegung versus Stillstand.

Bemerkungen zur chemischen Thermodynamik

...mit einbrechender Dunkelheit erreichten wir den Storström, eine breite Wasserstraße zwischen den Inseln Själland und Falster... Wir segelten jetzt bei völliger Dunkelheit ... ich mußte ganz vorne Ausguck halten nach Positionslichtern von Schiffen, die uns gefährlich werden konnten. Chievitz meditierte: „Ja, mit den Positionslichtern der Schiffe geht's ja ganz gut, da werden wir wohl nicht zusammenstoßen. Aber wenn sich in diese Gegend zum Beispiel ein Walfisch verirrt hätte, die haben keine Positionslichter, weder backbord rot, noch steuerbord grün... Heisenberg, sehen Sie Walfische? „Ich sehe fast nur Walfische“ antwortete ich, „aber ich vermute doch, daß die meisten von ihnen große Wellen sind.“ „Das müssen wir hoffen. Aber was würde eigentlich passieren, wenn wir mit einem Walfisch zusammenstießen? Unser Boot und der Walfisch, beide würden wohl ein Loch bekommen. Aber das ist eben der Unterschied zwischen lebendiger und toter Materie. Das Loch im Walfisch würde von selbst zuheilen, unser Boot würde wohl kaputt gehen. Besonders, wenn wir damit auf dem Meeresgrund lägen...“

Gespräch zwischen Werner Heisenberg und dem Chirurgen Chievitz anlässlich eines Segeltörns in den frühen Dreißigerjahren. An Bord war auch Niels Bohr anwesend. Er achtete auf den Kompass.

W. Heisenberg, Der Teil und das Ganze

Denken wir an eine kalte Nacht am Lagerfeuer. Wie wunderbar wärmt das knisternde Holz. In kleinen Hohlräumen enthaltenes Harz verursacht gelegentlich einen Funkenregen. Ist der Rücken nicht durch gut isolierende Kleidung geschützt, merkt man bald wie schnell alles in der Dunkelheit auskühlt. Bereits eine Stunde nach Sonnenuntergang ist der Wärmeverlust der Erde durch Abstrahlung beinahe körperlich spürbar. Im Moment des Sonnenaufgangs ist jedem klar, woher all die Energie kommt, die uns am Leben erhält, woher die Energie stammt, die im Holz gespeichert wurde.

Energie: die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten“ spätlateinisch <i>energia</i> , gr. <i>en-érgeia</i> wirkende Kraft. Zugrunde liegt das gr. <i>érgon</i> Werk, Wirken, Feldarbeit, Kampf, Kunstwerk, dieses ist unverwandt mit dem deutschen Worten „Werk, Chirurgie, Liturgie“.

Seit der Publikation des bahnbrechenden Werkes „Experiments upon plants“ durch Jan Ingenhous 1779, konnte man erahnen, wie das Leben auf der Erde eigentlich in Gang gehalten wird. Ingenhous, der 1730 in Breda in den Niederlanden geboren wurde und 1799 in Bowood in County Wiltshire starb, gilt als der Entdecker der **Assimilation**. Ingenhous wirkte nicht nur in Edinburg und London. Von 1768 bis 1789 war er Leibarzt von Kaiserin Maria Theresia. Er stellte 1779 in Wien fest, dass grüne Pflanzenteile unter Lichteinwirkung jenes Gas abgeben, welches die Atmung unterhält. Nach der Methode des Abbé Fontana (1730 – 1805) konnte er über die Oxidation von NO und die Wasserlöslichkeit des entstehenden NO₂ sogar die genaue Menge dieses Gases bestimmen. 1796 wurde sein Buch „*On the Nutrition of Plants and the Fruitfulness of the Earth*“ (*Über die Ernährung der Pflanzen und die Fruchtbarkeit des Bodens*) gedruckt.

1804 nahm Nicolas Théodore de Saussure, Sohn des Initiators der Erstbesteigung des Mont-blancs, Horace Bénédict de Saussure, quantitative Messungen der CO₂-Assimilation aus der Luft vor.

Um 1840 wies Justus Liebig auf die Kreisläufe der Elemente Sauerstoff, Kohlenstoff, Stickstoff und Wasserstoff zwischen Pflanzen und Tieren hin. Er bezweifelte nicht, dass diese „Metamorphose“ eine gewöhnliche chemische Umsetzung ist: „Nennen wir die Ursache der Metamorphose Lebenskraft, höhere Temperatur, Licht, Galvanismus oder wie wir sonst wollen, der Akt der Metamorphose ist ein rein chemischer Prozeß.“ (Agriculturchemie 1840)

Anfänglich war Liebig der Meinung, die Harnstoffabgabe stelle ein gutes Maß für die Bestimmung des Stoffwechsels bei Tier und Mensch dar. Diese Frage konnte 1866 durch die Besteigung eines bekannten Berges, nämlich des 2681m hohen Faulhorns im Berner Oberland, durch den deutschen Chemiker Johannes Wislicenius (1835 – 1902) und den ebenfalls aus Deutschland stammenden Physiologen Adolf Fick (1829 – 1901) geklärt werden. Aus der Höhe des Berges wurde die Arbeit berechnet, aus dem Stickstoffgehalt des beim Aufstieg ausgeschiedenen und gesammelten Urins wurde ein Protein-Äquivalent bestimmt. Der englische Chemiker Edward Frankland (1825 – 1899), Ficks Schwager, der das Experiment ursprünglich geplant hatte und dann im letzten Augenblick an der Besteigung doch nicht teilnehmen konnte, führte daraufhin Bestimmungen des Wärmegehalts von Nahrungsmitteln mittels eines eigenen Kalorimeters durch. Das Ergebnis war klar, die Alpinisten hatten bei ihrer Besteigung mehr Arbeit geleistet, als aus dem Eiweiß der während der Besteigung zu sich genommenen Nahrung zu beziehen war.⁶⁸

Heute sind uns derartige Überlegungen Selbstverständlichkeiten. Klarerweise konnten die Bergsteiger mit der Energie der zugeführten Proteine nicht das Auslangen finden, der Körper griff auf das in der Leber gespeicherte Glykogen zurück und stellte danach auf Fettverbrennung um. Um die damalige Situation besser verstehen zu können, müssen wir uns vor Augen halten, dass damals nicht einmal der allgemeine **Energieerhaltungssatz** noch allgemeines Wissensgut war.

Der Mathematiker und Philosoph Gottfried Wilhelm Leibnitz (1646 – 1716) hatte im Zusammenhang mit seiner Korpuskel- bzw. Monadenlehre einen Erhaltungssatz für die Größe mv^2 postuliert. Leibnitz war hier Christian Huygens (1629 – 1695) gefolgt, er nannte - als Maß für Bewegungen bei Stößen – das Produkt mv^2 „lebendige Kraft“.⁶⁹ 1807 führte der britische Arzt, Physiker und Ägyptologe Thomas Young (1773 – 1829) den Begriff „Energie“ für diese „lebendigen Kräfte“ ein. Zur selben Zeit wurde klar, dass beim freien Fall potentielle Energie in kinetische umgewandelt wird. Wie man sich die Umwandlungen von chemischer Energie in kinetische oder gar in thermische vorzustellen hat, ist erst sehr spät und nur peu à peu klar geworden.

Die ersten kalorimetrischen Messungen wurden von H. Boerhaave (1668 – 1738) und D. G. Fahrenheit um 1732 mit der Bestimmung der Wärmekapazität des Wasser und des Eises durchgeführt. Auf J. Black (1728 – 1799) gehen die Begriffe „Wärmekapazität“, „Wärmemenge“ und „latente Wärme“ zurück. M. V. Lomonossov baute das erste Eisblockkalorimeter. Lavoisier und Laplace verwendeten 1780 ein derartiges Eiskalorimeter um Reaktionswärmen zu messen. Um 1800 wurde die Kalorie als Einheit der Wärmemenge eingeführt.⁷⁰

⁶⁸ W. H. Brock, Justus von Liebig, vieweg, Wiesbaden 1999, p. 164.

⁶⁹ Leibnitz wandte sich damit gegen Rene Descartes, der das Produkt mv als Maß für Bewegungen favorisierte und dessen Konstanz behauptete.

⁷⁰ I. Hammerl, „Kalorimetrie“ in: S. Engels, R. Stolz (Hsgeb.), ABC-Geschichte der Chemie, Dt. Verl. f. Grundstoffindustrie, Leipzig 1989, p. 224.

Hermann Heinrich Heß: Die bei chemischen Reaktionen entwickelte Wärme

1842 war ein entscheidendes Jahr. In diesem Jahr stellte der Chemiker Hermann Heinrich Heß in St. Petersburg seinen berühmten Wärmesatz auf; hierbei handelte es sich um den Spezialfall der **Energieerhaltung für chemische Reaktionen**. Im gleiche Jahr formulierte der Arzt Julius Robert Mayer in Heilbronn den Energieerhaltungssatz in einer allgemeineren Form. Die Bedeutung des letzteren wurde allerdings erst um 1847 durch Hermann von Helmholtz erkannt.



Hermann Heinrich Heß wurde am 7. August 1802 in Genf geboren.⁷¹ Sein Vater, ein gebürtiger Schweizer, war Künstler. Bald nach der Geburt seines Sohnes übersiedelte dieser nach Russland, wo er auf einem Gut in der Nähe Moskaus die Stelle eines Verwalters bekleidete. 1805 ließ er seine Ehefrau und seinen dreijährigen Sohn nachkommen. Die Mutter wurde auf dem besagten Gut Gouvernante. Hermann Heinrich erhielt seine schulische Ausbildung zusammen mit den Kindern des Gutsbesizers. Er erlernte mehrere Sprachen und konnte sich auch umfassende Kenntnisse der Natur- und Geisteswissenschaften aneignen.

Im Alter von 15 Jahren ging Heß nach Dorpat in Estland. Estland war damals Teil des russischen Zarenreiches. In Dorpat besuchte Heß zwei Jahre lang eine Privatschule, danach das Gymnasium. Im Herbst 1822 ließ er sich an der medizinischen Fakultät der Universität Dorpat als „Zögling des medizinischen Kroninstituts“ immatrikulieren. Mit besonderem Eifer widmete sich der junge Hermann Heinrich der analytischen Chemie und führte unter Anleitung von Gottfried Wilhelm Osann (1796 – 1866) im letzten Studienjahr selbständige Arbeiten durch. 1825 verteidigte er erfolgreich seine Dissertation über Untersuchungen zur chemischen Zusammensetzung und zur Heilwirkung russischer Mineralwässer und beendete

⁷¹ Heinig, K. (Hsgeb.) Biographien bedeutender Chemiker, Volk und Wissen, 5. Aufl., Berlin 1983, p. 203ff.

sein Studium mit Auszeichnung. Heß wurde für einen mehrmonatigen Studienaufenthalt bei Jöns Jakob Berzelius vorgeschlagen und reiste noch im Herbst 1825 nach Stockholm.

Nach seiner Rückkehr aus Stockholm erhielt Heß eine Berufung als Arzt in die sibirische Stadt Irkutsk. In Sibirien nahm er an geologischen Expeditionen in den Ural und um den Baikalsee teil. 1828 erhielt er die Nachricht von seiner Wahl zum Adjunkten für Chemie der St. Petersburger Akademie der Wissenschaften. Er verließ Irkutsk 1829 und reiste über Moskau nach St. Petersburg. Bis auf eine Studienreise, die ihn 1838 nach Deutschland, der Schweiz und Frankreich führte und auf der er Robert W. Bunsen, Friedrich Wöhler, Justus Liebig, Pierre-Louis Dulong und Jean Baptiste Dumas kennen lernte, hielt sich Heß ausschließlich in St. Petersburg auf.

1830 wurde Hermann Heinrich Heß zum außerordentlichen und 1834 – mit 32 Jahren – zum ordentlichen Mitglied der Petersburger Akademie gewählt. In dem von ihm eingerichteten Laboratorium führte er zahlreiche Untersuchungen aus. Im Winter 1833/34 begann er, in der Überzeugung mit Hilfe thermochemischer Messungen Information über die Konstitution organischer Verbindungen erhalten zu können, mit ersten kalorimetrischen Messungen. Er vermutete, dass die Wärmemengen - wie die Atome und Moleküle - dem Gesetz der multiplen Proportionen gehorchen. 1839 vertrat Heß mit Nachdruck die bereits 1831 geäußerte Ansicht, **dass die Wärmebilanz einer chemischen Reaktion als Maß für die Affinität zu gelten habe**. In weiteren Untersuchungen machte Heß 1842 die Entdeckung, *„dass, auf welchem Wege eine Verbindung auch zu Stande komme, die Menge der bei ihrer Bildung entwickelten Wärme immer konstant sei, es möge die Verbindung auf directem oder indirectem Wege, auf ein Mal oder in verschiedenen Zeiträumen zu Stande kommen.“* Dieser Heßsche Wärmesatz gilt noch heute.

Heß starb, gezeichnet von einer langen und schweren Krankheit im Alter von 48 Jahren in der Nacht vom 30. November auf den 1. Dezember 1850 in St. Petersburg.

Julius Robert Mayer: Wärme ist eine Form der Energie

Julius Robert Mayer wurde 1814 als Sohn eines Apothekers in Heilbronn geboren. Er studierte an der altherwürdigen Universität Tübingen Medizin. 1840 befand er sich als Schiffsarzt auf einer Reise nach Djakarta in Indonesien. Er hatte an Bord nicht viel zu tun und befasste sich daher mit verschiedensten Überlegungen. In Djakarta ließ Mayer einen Seemann zur Ader. Mayer war von der roten Farbe des venösen Blutes überrascht. In nördlichen Breiten ist das venöse Blut meist sehr dunkel. Mayers erste Überlegung war, dass die Farbe des Blutes auf das heiße Klima zurückzuführen sei. Es scheint so zu sein, dass sich die Körpertemperatur bei Hitze mit einer verringerten Oxidation aufrecht erhalten lässt. Darin war der erste vage Hinweis versteckt, dass Wärme und Energie irgendwie zusammenhängen.

Das erste veröffentlichte Ergebnis war ein Artikel Mayers vom März 1842 in den von Justus von Liebig herausgegebenen Annalen der Chemie mit dem Titel *„Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“*. Frühere Arbeiten waren wegen ihrer verworrenen Form abgelehnt worden. Mayer gibt in diesem Aufsatz das mechanische Wärmeäquivalent mit $1 \text{ cal} = 3,72 \text{ J}$ an (heutiger Wert 4,18; Joule selber gab 4,18 an). Mayer verriet indes nicht, wie er zu diesem wichtigen Ergebnis gekommen ist. Aus späteren Arbeiten ist zu entnehmen, dass er vom Unterschied zwischen den spezifischen Wärmen eines idealen Gases bei $p = \text{konstant}$ beziehungsweise $V = \text{konstant}$, also vom Unterschied zwischen C_p und C_v , ausgegangen war.

Von Mayer erschienen zwei weitere Schriften. Im Privatdruck veröffentlichte er 1845 das Buch „*Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel*“. Darin untersuchte Mayer die Rolle der Energie im tierischen Leben, und er geizte darin nicht mit polemischen Angriffen auf Liebig. 1846 schrieb er die „*Beiträge zur Dynamik des Himmels*“, worin er sich mit dem Ursprung der aus der Sonne kommenden Energie beschäftigte.

1842 hatte Mayer geheiratet und sich in Heilbronn niedergelassen. 1850 versuchte er sich durch einen Sprung aus dem Fenster das Leben zu nehmen. Danach suchten ihn immer wieder Schübe schwerer psychischer Störungen heim. 1870 wurde er korrespondierendes Mitglied der Französischen Akademie. 1871 erhielt er die Copley Medal der Royal Society. Mayer starb 1878 an der Tuberkulose.

Emilio Segrè schreibt über ihn: „*Ich kann nicht glauben, dass Mayer großen Einfluss auf die Physik gehabt haben soll. Etwas überspitzt ausgedrückt, er war... ein Dilettant.*“

Berthelots Prinzip der maximalen Arbeit contra Vant Hoff's Kältemischungen

Marcelin Berthelot war einer der bedeutendsten französischen Chemiker des 19. Jahrhunderts, Außerdem war Berthelot der einflussreichste Chemiehistoriker seiner Zeit. Er wurde geboren 1827 in Paris. Er starb auch in Paris, und zwar 1907. Er selber schrieb: „*Im Jahre 1864 habe ich angefangen, mich mit Thermochemie zu beschäftigen. Die Arbeit, die ich bis dahin verfolgt hatte, war abgeschlossen... Tatsächlich waren mir die grundlegenden Prinzipien für die Ordnung der einzelnen Resultate von Anfang an klar: das sind diejenigen, die ich heute die drei Prinzipien der Thermochemie nenne, besonders das dritte, welches am eigentlichsten mit zugehörte: ich meine das **Prinzip der maximalen Arbeit**.*“ Er hat dieses Prinzip folgendermaßen formuliert: „*Jede ohne Einwirkung einer fremden Energie vollzogene chemische Veränderung strebt nach der Herstellung des Körpers oder Systems von Körpern, welche am meisten Wärme freisetzen*“.

Unwiderrspochen wurde dieser Satz als Prinzip lange Zeit akzeptiert. Bis **Jacobus Hendricus van't Hoff** (1852 – 1911) auf einen anderen Sachverhalt aufmerksam machte.

Es war den Alchemisten des Mittelalters schon aufgefallen, dass sich beim Auflösen von bestimmten Salzen in Wasser, wie z.B. beim Auflösen von Mauersalpeter, das Ganze deutlich abkühlt. Es wurde von der kalten Natur dieses Salzes gesprochen. In der Folge betrachtete man derartige Solvationsprozesse als „physikalische Prozesse“ und machte sich keine Sorge, dass ein derartiger Vorgang das Berthelot-Prinzip falsifizieren würde.

Van't Hoff konnte mit Hilfe von eindeutig als chemische Reaktionen anzusprechenden Vorgängen zeigen, dass eine weitere Abtretung ähnlicher Phänomene an die Physik unstatthaft ist. Er vermischte kristallisiertes Natriumsulfatdecahydrat $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ mit Kaliumchlorid KCl, wobei nicht nur die Verflüssigung und somit Auflösung der Salze im Kristallwasser, sondern auch eine deutliche Temperaturniedrigung feststellte.⁷²

Eindrucksvoller ist folgende Reaktion:



⁷² H. Schmidkunz, „Vom Berthelotschen Prinzip zur Triebkraft chemischer Reaktionen“, Praxis der Naturwissenschaften – Chemie **11**, 1982.

So bildet sich bei der Reaktion von festem Ammonchlorid mit Kristallen von Bariumhydroxid-oktahydrat nicht nur eine Flüssigkeit, sondern auch ein leicht nachzuweisendes Gas: Ammoniak. Die Entropie nimmt bei diesem Vorgang stark zu. $\Delta S = 369 \text{ J/K}$. Das Becherglas kühlt stark ab, $\Delta H = + 63,5 \text{ kJ/}$ Formelansatz, die Umgebung wird abgekühlt.

Rudolf Clausius (1822 – 1888), Professor der Physik an der Universität Zürich und Bonn, formulierte 1850 den Zweiten Hauptsatz, der die Richtung von Energieumwandlungen in abgeschlossenen Systemen angibt, und 1865 das **Entropiegesetz**: die Entropie nimmt bei der Reaktion bei irreversiblen Vorgängen in einem abgeschlossenen System stets zu.⁷³ Der 2. Hauptsatz richtet die Zeit aus, die Zeit hat von nun an einen Richtungspfeil, sie verläuft in abgeschlossenen makroskopischen Systemen in Richtung zunehmender Entropie.

Als der 2. Hauptsatz formuliert wurde, wurden ausschließlich makroskopische Phänomene beschrieben. So gesehen stellt die Entropie eine latente Wärme dar. Sie ist – multipliziert mit der Temperatur - das Maß für die im Inneren eines chemischen Systems umgesetzte Energie. 1881 wurde von **Hermann Helmholtz** (1821 – 1894) die **Freie Energie** (Helmholtz-Funktion, A) eingeführt. Sie gilt für konstante Temperatur und konstantes Volumen. Die Gibbssche freie Energie (auch Gibbssche freie Enthalpie genannt, G) ist nach **Josia Willard Gibbs**, Prof. an der Yale-University (1839 – 1903) benannt. Sie beschreibt die Situation bei T konstant und p konstant. Die Gibbs-Helmholtz-Gleichung gibt den Zusammenhang zwischen der Änderung der freien Energie, der inneren Energie und der Temperatur an: $\Delta A = \Delta U - T\Delta S$ bzw. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$. Insgesamt laufen chemische Reaktionen nur dann spontan ab, wenn ΔG negativ ist, was bedeutet, dass entweder die Entropiezunahme im System der bestimmende Posten ist oder - via Erwärmung der Umgebung durch negatives ΔH – die Entropiezunahme in der Umgebung!⁷⁴

Exkurs:

In der von Boltzmann (siehe unten) forcierten statistischen Ableitung des zweiten Hauptsatzes wird die Entropie als ein Maß der Anzahl von verschiedenen mikroskopischen Zuständen (sogenannten Mikrozuständen) eines Systems definiert. Der Makrozustand mit der größten Anzahl von Mikrozuständen hat die größte Entropie, und auch es ist die größte Wahrscheinlichkeit gegeben, das System in eben jenem Zustand anzutreffen. Wird ein System zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem Makrozustand von nicht maximaler Entropie angetroffen, so ist es wahrscheinlich, dass das System zu einem späteren Zeitpunkt im Zustand höherer Entropie gefunden wird.

Nach Claude Elwood Shannon (*Gaylord USA 1916) ist die Entropie (so wie er sie ursprünglich definiert) ein Maß des potentiellen Wissens, die negativ genommene Entropie (Negentropie) ein Maß für wirkliches Wissen. Information im Shannonschen Sinne ist der Erwartungswert des Neuigkeitswertes eines Signals; der Erwartungswert entspricht jenem Wissen, das wir entbehren, wenn wir nur den Makrozustand kennen (Weizsäcker 1999, p. 334). Es ist fraglich, ob es vernünftig ist, eine hohe Negentropie als Zustand hoher Unordnung zu apostrophieren.

⁷³ Der erste Hauptsatz ist wie der zweite ein Erfahrungssatz. „Der sicherste aller Erfahrungssätze, die wir kennen“, bemerkte Des Coudres, „sicherer als der Tod, denn der Tod ist nur ein Spezialfall des Zweiten Hauptsatzes.“

⁷⁴ Zur informationstheoretischen Interpretation des 2. Hauptsatzes siehe C. F. von Weizsäcker, „Die philosophische Interpretation der modernen Physik“, in: C. F. von Weizsäcker, Große Physiker, Hanser-Verl. München, Wien 1999, p. 330ff.

Der Physikochemiker **Walter Nernst** (1864 – 1941) formulierte 1906 den nach ihm benannten Wärmesatz (Nernstscher Wärmesatz). Dieser, **3. Hauptsatz der Thermodynamik** benannte, Satz besagt, dass der absolute Nullpunkt nicht erreicht werden kann. Bedeutend ist dieser Satz wegen der Verknüpfung der Thermodynamik mit der Quantentheorie, ermöglicht er doch eine quantentheoretische Interpretation der spezifischen Wärme.⁷⁵ In den 20er Jahren versuchte Nernst eine thermodynamische Erklärung für astrophysikalische Phänomene zu geben. Er sprach von einem Universum im Fließgleichgewicht.

Natürliche chemische Prozesse auf der Oberfläche unseres Planeten sind Kreisprozesse

Primo Levi, der berühmte italienische Schriftsteller und Chemiker erzählt in seiner „Periodischen System“ die Geschichte eines Kohlenstoffatoms. Die Idee zu dieser Geschichte hatte er bereits im Herbst 1942, noch etliche Monate vor seiner Verhaftung und der Deportation nach Auschwitz-Monowitz. Der damals frisch promovierte Levi wollte der Welt die Poesie der Photosynthese nahe bringen. Niederschreiben konnte er das Geschichtchen erst viele Jahre später. Es beginnt so:

Der Wind erfaßte das Atom, warf es zu Boden und hob es zehn Kilometer in die Höhe. Ein Falke atmete es ein, es gelangte in seine tief atmenden Lungen, drang aber nicht in sein Blut ein und wurde ausgeschieden. Dreimal löste es sich im Meerwasser auf, einmal im Wasser eines tosenden Wildbachs, und wurde wieder ausgestoßen. Acht Jahre lang reiste es mit dem Wind: mal tief, mal hoch, über Meere und zwischen Wolken, über Wälder, Wüsten und endlose Eisflächen... ...im Jahre 1848 (wurde es) vom Wind an Weinstöcken vorübergetragen. Es hatte das Glück, ein Blatt zu streifen, in dieses einzudringen und von einem Sonnenstrahl darin festgenagelt zu werden. (Das periodische System, p. 291f.)

Primo Levi hat nicht zufällig das Kohlenstoffatom für seine Reise durch die Welt des Anorganischen und Organischen gewählt. Seine Einzigartigkeit und seine Bedeutung für unser Leben braucht hier nicht betont werden. Betrachtet man das Schema des globalen Kohlenstoffzyklus wie es von Greenwood und Earnshaw in der „Chemie der Elemente“ abgebildet wurde, ist es irgendwie beruhigend zu sehen, wie der Kohlenstoff, der das Eiweiß, das Fett, die DNA etc. unseres Körpers aufbaut, in die verschiedensten Kreisläufe einbezogen ist.

Einige Seiten weiter ist im gleichen Buch der Stickstoffkreislauf zu finden. Und spätestens hier muss uns klar sein, dass auf der Erdoberfläche praktisch alle Elemente in irgendwelche Kreisprozesse involviert sind. Der leibliche Tod ist also nur ein sehr relativer.

Ludwig Boltzmann: Entropie als Verteilung von Energie auf mikroskopische Zustände

Ludwig Boltzmann bemühte sich, wo er nur konnte, physikalische Erscheinungen auf der Grundlage der Atomlehre zu deuten. Er war in den Worten seines Gegners Alois Höfler, „Atomistiker bis ins Unmögliche“. In Wien hatte Boltzmann einen erbitterten Gegner der Atomistik zum Feind: Ernst Mach.

Zunächst einige wenige biografische Daten.⁷⁶ Ludwig Boltzmann wurde am 20. Februar 1844 im Haus 286 der Landstraßer Hauptstraße in Wien als Sohn eines Steuerbeamten geboren. Er studierte bei Petzval, von Ettingshausen und Stefan in Wien, verbrachte einige Monate als

⁷⁵ D. Hoffmann, J. Lemmerich, 100 Jahre Quantentheorie. Die Vor- und Frühgeschichte, Katalog zur Ausstellung Berlin 2000, Wien 2001.

⁷⁶ E. Broda, Ludwig Boltzmann: Mensch · Physiker · Philosoph, Deuticke, Wien 1986 (1. Aufl. 1955).

Gast bei Bunsen in Heidelberg und Hermann von Helmholtz in Berlin. 1876 wurde er Professor für Experimentalphysik in Graz. Dort besuchten ihn Arrhenius, Ostwald und Nernst. 1893 wurde er als Nachfolger Stefans auf den Wiener Lehrstuhl für theoretische Physik berufen. 1903 übernahm von Ernst Mach, einem seiner erbittertesten wissenschaftlichen Gegner, der einen Schlaganfall erlitten hatte, das dreistündige Seminar „Methode und allgemeine Theorie der Naturwissenschaften“ und las auch über Fragen der Philosophie. Am 5. September 1906 beging Boltzmann in Duino bei Triest in einem Anfall von Depression Selbstmord.

1872 verwendete Boltzmann die kinetische Theorie, um die Probleme des Übergangs von beliebigen Zuständen eines Systems ins Gleichgewicht zu lösen. Es gelang ihm, aufbauend auf den Arbeiten Maxwells, eine Funktion H (ursprünglich E) abzuleiten, deren Wert in isolierten Nichtgleichgewichtssystemen mit der Zeit nur abnehmen kann. Boltzmanns Arbeit über die Annäherung an Gleichgewichtszustände wurde 1874 von William Thomson und zwei Jahre später von Josef Loschmidt einer Kritik unterworfen. Als Einwand wurde formuliert, dass jedes mechanische System zeitinvariant ist. Wie also kann die zeitumkehrbare Mechanik irreversible Prozesse beschreiben? Boltzmann nahm den Zeitumkehr-Einwand ernst, und – wie Des Coudres es ausdrückte – suchte er eine Eselin und fand ein Königreich: die statistische Mechanik. (Der Name ist von Gibbs geprägt worden, Boltzmann hat ihn akzeptiert.) Boltzmann fand heraus, dass die Zahl der wahrscheinlichen Mikrozustände nach der Umkehr aller atomaren Bewegungen, die eine Zunahme von H bewirken würden, um vieles kleiner ist als die Zahl jener, welche zu einer Abnahme dieser Größe führen.

Arthur Sommerfeld urteilte: *„Niemand, auch nicht Maxwell oder Gibbs, hat so tief über die Einseitigkeit der Naturvorgänge und ihre Wahrscheinlichkeitstheoretische Begründung nachgedacht wie Boltzmann.“* Der heute noch in Wien lebende und nach wie vor als Physiker und Wissenschaftshistoriker tätige Enkel Boltzmanns, Ludwig Flamm, sagte: *„Indem Boltzmann die Abzählmethode der physikalischen Statistik entwickelte und mit ihrer Hilfe den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ganz allgemein begründen konnte, hatte er der Physik neue Grundlagen von ganz ungeahnter Tragweite gegeben.“*

Boltzmann erkannte, dass sein H-Theorem bis auf das Vorzeichen mit der Entropie S übereinstimmt. Die logische und quantitative Beziehung zwischen der Statistik und der Thermodynamik konnte nun hergestellt werden. 1877 stellte Boltzmann das berühmte Gesetz auf, das von Planck in Form der Gleichung

$$S = k \cdot \log W$$

angegeben wurde, W drückt darin die atomistische Wahrscheinlichkeit des Systems aus, wobei sich diese thermodynamische Wahrscheinlichkeit nur durch einen Faktor von der üblichen mathematischen Wahrscheinlichkeit unterscheidet. Diese Gleichung steht auf Boltzmanns Grabstein.

Ludwig von Bertalanffy: Lebendige Systeme existieren im Fließgleichgewicht

Bereits Ludwig Boltzmann hatte sich Gedanken gemacht, wie denn Lebewesen der ständigen Zunahme der Entropie ein Schnippchen schlagen können. In einem Nachruf auf Loschmidt erwähnt Boltzmann, dass er in einem Gespräch mit seinem Freund Loschmidt im alten Laboratorium in Wien- Erdberg, Erdbergerstraße 15, darauf hingewiesen hat, *„dass sich, wenn alle Temperaturungleichheiten aufgehört hätten, auch keine intelligenten Wesen mehr bilden könnten.“*

Boltzmanns Äußerung darf aber keineswegs darüber hinwegtäuschen, dass die Frage, wie Lebewesen es schaffen, der Entropiemaximierung spontaner Prozesse zum Trotz komplexeste Strukturen aufzubauen und diese über lange Zeiträume zu stabilisieren, ein Rätsel war.

Gehen wir ein paar Jahrzehnte zurück. Erste Ansätze einer Betrachtung von Stoffkreisläufen unter Beteiligung von Mikroorganismen finden wir in einer von Liebig 1839 in den *Annalen der Pharmazie* herausgegebenen Satire. Unter dem Pseudonym S. C. H. Windler schrieb Friedrich Wöhler: Die Mikroorganismen hätten einen Magen und einen Verdauungstrakt, auch Organe zur Ausscheidung. Sobald diese „Tiere“ aber eingesperrt seien, verschlängen sie Zucker und man könne sehen, wie dieser Zucker in den Mägen ankommt. Der Zucker werde sofort verdaut. Die Lebewesen würden Alkohol aus ihren Aftern und Kohlendioxid aus ihren Blasen ausscheiden. Die volle Blase gleiche einer Champagnerflasche...

Nicht unähnlich sind Anläufe zur Betrachtung von Stoffkreisläufen in Justus von Liebig 1842 erstmals aufgelegter „Thier-Chemie“. In den frühen Fünfzigerjahren des 19. Jahrhunderts entwickelten - gewiss beeinflusst von den erwähnten Ideen - der Naturwissenschaftler Philip Gosse und der Pharmazeut Robert Warington den Gedanken eines stoffmäßig abgeschlossenen Aquariums mit Fischen und Pflanzen, wobei die Ausscheidungen (inklusive des Sauerstoffs) gegenseitig konsumiert werden. Liebig war von Waringtons Erfindung so beeindruckt, dass er ein solches Aquarium in München populär machte, wobei der seinen ehemaligen Schüler August Wilhelm Hofmann als seinen britischen Lieferanten benutzte. Die anschaulichen Kreisläufe in diesem gelegentlich „Liebig'sches Aquarium“ genannten, nur von den Sonnenstrahlen in Gang gehaltenen System unterstützte die Bemühungen von Hygienikern, die menschlichen Ausscheidungen durch ein Röhrensystem zu pumpen und auf das Land zurückzuführen, wo der Boden ihre möglicherweise krankheitserregenden Eigenschaften unschädlich machen würde. Das Aquarium ließ erahnen, welche Selbstreinigungskraft Flüsse und Seen besitzen.

Der ganz große Pionier auf dem Weg zum Verständnis lebendiger Systeme war zweifellos Ludwig von Bertalanffy. Seine Modellreaktion war der Prozess essigsaurer Gärung. Sein „Chemostat“ war ein Reaktionsgefäß, welches eine Bakterienkultur enthielt. Es war ein konstanter Zufluss von Nährlösung und ein Abfluss des Reaktionsproduktes sichergestellt.

Ludwig von Bertalanffy wurde am 19. 9. 1901 in Atzgersdorf bei Wien geboren. 1926 dissertierte v. Bertalanffy mit einer rein philosophischen Arbeit über den Physiker und Philosophen G. Th. Fechner. Kurz darauf geriet er unter den Einfluss des Wiener Kreises und entwickelte eine lebenslange Aversion gegen die Metaphysik. Er habilitierte sich für das Fach „Theoretische Biologie“. Mit seiner „organismischen Biologie“ wollte er die Kontroverse zwischen dem Mechanismus und dem Vitalismus aufheben. Er gelangte zur Definition des „offenen Systems“ und schließlich zur Konzeption des „Allgemeinen Systems“. Von 1941 bis 1949 war Bertalanffy Professor für Biologie in Wien, danach in Ottawa und Edmonton in Kanada. Ludwig von Bertalanffy starb im Frühjahr 1972 in Buffalo (N.Y.).

Ludwig von Bertalanffys Hauptinteresse galt der Methodologie und der Allgemeinen Systemtheorie. Er prägte den Begriff des Fließgleichgewichts (steady state). Dieser Begriff ist für das Verständnis der Thermodynamik lebender Systeme unentbehrlich geworden. Ludwig von Bertalanffy definierte ein System folgendermaßen: Ein System erhält sich selbst. Das System muss wie ein lebendiger Organismus den Kräften, die es von außen treffen, um es zu zerstören, widerstehen. Es gibt aber nicht nur eine Auseinandersetzung mit der Umwelt, das System arbeitet sich quasi durch die Umwelt hindurch.



http://www.managementkybernetik.com/fs_beer1a.html?/inh/connect1a.htm

Zu Beginn des Jahres 1972 galt von Bertalanffy als Kandidat für den Nobelpreis. Bertalanffys Tod hat diesen Plan vereitelt.

Ilya Prigogine: Vom Sein zum Werden

Der Nobelpreis 1977 ging an den belgischen Chemiker russischer Herkunft Ilya Prigogine für seine Beiträge zur Nicht-Gleichgewichts-Thermodynamik, insbesondere zur Theorie der Entstehung dissipativer Strukturen. Unter letzteren versteht man räumlich und /oder zeitlich geordnete Zustände, die sich in ursprünglich homogenen, nichtstrukturierten Systemen in großer Entfernung vom thermodynamischen Gleichgewicht ausbilden.

Ilya Prigogine ist 1917 in Moskau geboren worden. 1921 wanderte die Familie nach Belgien aus. Ilya studierte an der Universität Brüssel und wurde 1941 promoviert. Er wurde Dozent und 1947 Professor an der Universität Brüssel. Zusätzlich leitete er ab 1967 das Zentrum für statistische Mechanik und Thermodynamik der Universität Texas in Austin. Mit thermodynamische Untersuchungen begann Prigogine im Jahre 1947. Er fand dabei heraus, dass in gleichgewichtsfernen Systemen dissipative Strukturen⁷⁷ energetisch begünstigt sind. Irreversible Prozesse, die ja „eigentlich“ zur Zerstörung von Strukturen führen sollten, sind eine Quelle für Ordnung! Ein Beispiel für derartige Strukturen sind Lebewesen, die beim Wachsen unter Entropieabnahme „selbstorganisierte“ Strukturen höherer Ordnung bilden.

Dissipative Strukturen bezeichnen Vorgänge, die sich in einem fortwährenden Energieaustausch mit der Umgebung befinden und dabei in einen stabilen Zustand übergegangen sind. Letzterer Zustand kann wie bei einem einfachen Fließgleichgewicht stationär sein oder zeitlich bzw. räumlich schwanken. Beispiele sind:

- 1) Die Flamme eines Brenner oder einer Kerze; sie bleibt bei ständiger Zuführung und Abführung von Edukten und Produkten sowie von Energie ein zeitlich unveränderliches Phänomen; **Konvektionszellen**; man spricht vom Bénard-Effekt oder der **Bénardkonvektion**. Der französische Physiker Henri Bénard beschrieb um 1900 die Ausbildung bienenwabenförmiger Zellstrukturen in von unten her erhitzten Flüssigkeiten ab einem bestimmten Temperaturgradienten. Die Teilchen steigen im Zentrum von sich ausbildenden hexagonalen Zellen auf, kühlen an der Oberfläche ab und strömen im Außenbereich der Zellen abwärts. Derartige Strukturen kann man gelegentlich nach dem Einschenken heißen Kaffees in eine Tasse beobachten. Großräumige Konvektionszellen bilden sich in der Atmosphäre, sie sind erkennbar an der Wolkenbildung. Ein ganz ähnliches System ist ein Wasserwirbel in einem Fluss. *„Seele des Menschen,/ wie glichst du dem Wasser!/ Schicksal des Menschen,/Wie*

⁷⁷ Unter Dissipation versteht man die bei irreversiblen Prozessen unvermeidbare Umwandlung von Energieformen in Wärmeenergie.

gleichst du dem Wind!“ (Johann Wolfgang von Goethe; Gesang der Geister über den Wassern)

- 2) Der chilenische Biologe Humberto Maturana (*1928) entwickelte das Konzept der **Autopoiese**, bei der es keine Trennung von Erzeuger und Erzeugnis gibt. Bei einem Lebewesen sind Sein und Tun als Einheit zu sehen. Auf Manfred Eigen geht das Verständnis der Entstehung des Lebens auf eine Verkettung elementarer Prozesse von **Selbstorganisation** im Sinne dissipativer Prozesse in der Materie zurück; er spricht von „**Hyperzyklen**“: Verknüpfungen sich selbst reproduzierender autokatalytischer Einzelzyklen. Die funktionelle Kopplung von Nukleinsäuren, die zur Vermehrung dieser Säure führt, erfolgt durch Proteine.
- 3) Bestimmte chemische Systeme können als Modellreaktionen für Lebensvorgänge angesehen werden. Als interessantes Modell eines Reaktionsmechanismus, bei dem **Dissipation** auftritt, dient der sogenannte Brüsselator. Einfach demonstrierbare experimentell überprüfbare Beispiele: die von Belousov entdeckten und von Žabotinskij beschriebenen oszillierenden Reaktionen.
- 4) Ökosysteme;
- 5) Wirtschaftsimperien. Vom Menschen geschaffene Strukturen insgesamt, wie Institute, Städte, Länder. An diesem Punkt ergibt sich die Frage: Wird die Soziologie zu einer Naturwissenschaft? Zeichnet sich ein Ende der Geisteswissenschaften ab?

Schlussfolgerung Prigogines: Alle mit dem Leben verbundenen Vorgänge – inklusive der Evolution – stellen sich nicht als eine Insel des Widerstands gegen den 2. Hauptsatz der Thermodynamik heraus, sondern sind die Konsequenz spezieller chemischer Kinetik im Zusammenspiel mit einem Zustand weit entfernt von den Bedingungen des Gleichgewichts.

Exkurs 2. Boris Pavlovič Belousov und Anatoli Markovič Žabotinskij: Oszillierende Reaktionen als Modellreaktionen für lebendige Systeme

Übliche chemische Reaktionen haben einen Zeitpfeil. Die Reaktion führt ohne Umschweife von Edukten zu Produkten. Um 1950 wurde von Boris Pavlovič Belousov eine Reaktion entdeckt, bei der die Konzentrationen bestimmter Spezies periodischen Schwankungen unterworfen ist. Man spricht von einer oszillierenden Reaktion. Die klassische Variante dieser Reaktion besteht in der Reaktion von saurer Bromatlösung mit organischen Verbindungen (wie z.B. Malonsäure) in Gegenwart von Einelektronenredoxkatalysatoren, wobei es zur Bromierung und Oxidation der organischen Säure kommt. Das erste Beispiel war die Reaktion von Zitronensäure in Gegenwart von Cerionen. Dabei kommt es zu einem schnellen Wechsel von Ce^{3+} (farblos) auf Ce^{4+} (gelb) und wieder zurück zu Ce^{3+} usw. Man kennt auch räumliche BZ-Reaktionen. Anatoli Markovič Žabotinskij erwarb sich große Verdienst um erste Schritte zur Aufklärung dieser Reaktion. Er war es, der 1962 den Begriff der chemischen oszillierenden Reaktion in homogener Phase wesentlich erweiterte.

Boris Pavlovič Belousov wurde 1893 in der russischen, an der Wolga gelegenen Stadt Saratow geboren. Er studierte Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich und kehrte nach der Oktoberrevolution in sein Heimatland zurück. Bis 1939 war Belousov an Forschungseinrichtungen der Roten Armee tätig. Danach wirkte er als Leiter eine Laboratoriums im Institut für Biophysik des Ministeriums für Gesundheitswesen der UdSSR. Bei Untersuchungen von Modellreaktionen für Vorgänge mit einem Metabolismus entdeckte er um 1950 die ersten oszillierenden Reaktionen. Publiziert wurde diese ungewöhnliche Reaktion erst 1959. Boris Pavlovič Belousov starb 1970 in Moskau.

Anatoli Markovič Žabotinskij wurde 1938 in Moskau geboren. Nach dem Studium der Physik an der Moskauer Lomonossov-Universität promovierte er 1965. Er war damals am Institut für Biologische Physik tätig. Nach seiner Habilitation im Jahre 1971 wurde er 1980 Professor am Moskauer Physikalisch-Technischen Institut. Außerdem wirkte Žabotinskij als Leiter des Laboratoriums für mathematische Modellierung am Moskauer Institut für biologische Untersuchungen chemischer Verbindungen. Seine wichtigsten Arbeiten befassten sich mit der Aufklärung der um 1950 von Belousov entdeckten oszillierenden Reaktionen. Neben den Beiträgen über die Belousov-Žabotinskij-Reaktion beschäftigte sich Žabotinskij mit theoretischen und experimentellen Studien zur Regulation in Systemen mit Metabolismus, Arbeiten über Zellpopulationen sowie mit allgemeinen Fragen der chemischen und biologischen Kinetik.

Die Erde als Photonenmühle

Entstand das erste Leben in der Tiefsee? Es gibt Hypothesen, wonach eine Entstehung primitiver Bakterien mehr oder weniger unabhängig von der Sonne, angetrieben durch die heißen Quellen der kalten Tiefsee möglich erscheint. Wie auch immer sich die Entstehung ereignet hat, heute spielen sich die meisten der uns interessierenden Vorgänge auf der hauchdünnen Oberfläche des Planeten Erde ab. Diese Oberfläche ist thermodynamisch gesehen natürlich eine extrem schmale, aber außergewöhnlich ereignisreiche Zone. Wodurch wird hier alles in Gang gehalten?

1886 sagte Ludwig Boltzmann:

„Der allgemeine Lebenskampf der Lebewesen ist ... nicht ein Kampf um die Grundstoffe – die Grundstoffe aller Organismen sind in Luft, Wasser und Erdboden im Überfluß vorhanden – auch nicht um Energie, welche in Form von Wärme, leider unverwandelbar, in jedem Körper reichlich vorhanden ist, sondern ein Kampf um die Entropie, welche durch den Übergang der Energie von der heißen Sonne zur kalten Erde disponibel wird. Diesen Übergang möglichst auszunutzen, breiten die Pflanzen die unermesslichen Flächen ihrer Blätter aus und zwingen die Sonnenenergie in noch unerforschter Weise, ehe sie auf das Temperaturniveau der Erdoberfläche herabsinkt, chemische Synthesen auszuführen, von denen man in unseren Laboratorien noch keine Ahnung hat. Die Produkte dieser chemischen Küche bilden das Kampfobjekt für die Tierwelt.“ (zitiert nach Engelbert Broda)

Die Energie, die pro einer Sekunde von der Sonne auf die Erde gelangt, beträgt $1,7 \cdot 10^{17}$ Ws. Davon werden etwa 30% reflektiert. Damit beträgt die zunächst verbleibende Energie $5,1 \cdot 10^{16}$ Ws. Diese Energie gelangt hauptsächlich in Form von sichtbarem Licht zu uns. Damit es nicht immer heißer auf der Erde wird, muss diese Energie auch wieder abgegeben werden. Die Abgabe erfolgt durch Abstrahlung von Infrarotlicht, wobei die Energiebilanz letztlich ausgeglichen ist. Gleich viel Energie kommt und geht. Die Abstrahlung erfolgt allerdings in einem anderen Energiebereich: im IR-Bereich. Photonen mit Wellenlängen von 400 – 800 nm werden in Photonen mit weit größeren Wellenlängen umgewandelt.

Im Inneren der Sonne beträgt die Temperatur etwa 16 MK. Die Photonen, die von der Oberfläche der Sonne zu uns gelangen, tragen die Energie mit sich, die sie von der ca. 6000K heißen Oberfläche mitnehmen. Aus jedem einzelnen Photon macht die Erde 20 neue Photonen, die jeweils eine Energie mit in das 3 K kalte Weltall nehmen, welche der mittleren Oberflächentemperatur von etwa 300 K entspricht. Dabei wird die Entropie um einen Faktor 20 erhöht, denn die Entropie elektromagnetischer Strahlung entspricht der Zahl der Photonen.⁷⁸

⁷⁸ W. Thirring, „Stability of Matter“ in: W. Fleischhacker and T. Schönfeld (Eds.), Pioneering Ideas for the Physical and Chemical Sciences, Proceedings of the Josef Loschmidt Symposium, Vienna 1995, Prentice Hall, New York and London 1995, pp. 163 – 178.

Wir verdanken unser Leben im Grunde der Temperaturdifferenz zwischen der heißen Sonnenoberfläche und dem kalten All. Die genannte Umwandlung ist es, die alles Geschehen in der Biosphäre wie in der Atmosphäre in Gang hält. Es wurde dafür von W. Eberling der Ausdruck **Photonenmühle** geprägt. Bei einer überschlächtigen Mühle ist die Menge an Wasser, die auf das Mühlrad gelang und das Mühlrad in Schwung hält, die gleiche, die unten wegrinnt. Die potentielle Energie aber ändert sich dabei und wird in kinetische umgewandelt. Analog dazu unser Planet: Die Energiemenge, die auf die Erde gelang und die Erde wieder verlässt ist, ebenfalls etwa gleich. Die Umwandlung in Richtung einer anderen spektralen Verteilung ist der ausschlaggebende Effekt. Begünstigt wird dieser Effekt zweifellos durch die Tatsache, dass sich die Erde in 24 Stunden einmal um ihre Achse dreht. Es kommt zu keiner extremen lokalen Aufheizung. Die Abstrahlung erfolgt ausgehend von einem nicht so hohen Temperaturniveau, wie das der Fall wäre, wendete die Erde der Sonne ständig die gleiche Seite zu. Die immensen Wassermengen und die mit dem Wasser verbundenen außergewöhnliche Wärmekapazität (Wärmespeicherung) ergeben eine weitere, in die gleiche Richtung wirkende Verteilung der Energie.

Akzeptieren wir, dass der überwältigend überwiegende Anteil der für die verschiedensten Nichtgleichgewichtssysteme auf der Erde, die Strukturen erzeugen, von der Sonne stammt, so verlagern wir die Frage nach der unglaublichen Negentropie nunmehr in das Zentralgestirn unseres Sonnensystems, die Sonne. Es ist ein unbegreiflich hohes Maß an thermischem Ungleichgewicht, welches hier herrscht: Die Temperatur im Inneren beträgt ca. 16 MK, die Oberflächentemperatur ist mit ca. 6 kK anzugeben; das alles ist zu sehen vor einem schwarzen (nicht vollständig isotropen) Hintergrund, dessen Strahlung der eines Körpers mit einer Temperatur von 3K entspricht - ein Überbleibsel von einem ehemals strahlungsdominierten All.

Nun ist aber unsere Sonne nur ein durchschnittlicher G2V-Stern jener Billion von Sternen, die unserer Galaxie, die Milchstraße, ausmachen. Und dann sind da noch all die anderen Galaxien. Die darin enthaltenen Sterne müssen doch den gleichen physikalischen Gesetzen unterworfen sein.

Durch Gravitationskräfte wird Masse ab einer Zahl von Wasserstoffatomen ab $N = 1 \cdot 10^{54}$ - dies entspricht etwa der Masse des Planeten Jupiter - so stark zusammengequetscht, dass die Materie in den plasmaförmigen Zustand übergeht. (Die Elektronen sind nunmehr völlig delokalisiert.) Bei weiterer Zunahme von N erreichen die Elektronen ab $N = 1 \cdot 10^{57}$ (dies entspricht der Masse unserer Sonne) eine Geschwindigkeit, die schon sehr nahe an die Lichtgeschwindigkeit c heran reicht. Nun könnte der Zuwachs an potentieller Gravitationsenergie zu einer für einen solchen Stern kritischen Situation führen, ist doch der elektromagnetische Strahlungsprozess, die diese Energie abführen könnte, einfach zu langsam: Die Photonen brauchen aufgrund von Streuvorgängen Millionen von Jahren, um die Oberfläche zu erreichen. Walter Thirring hat darauf hingewiesen, dass die nun im Inneren einsetzenden Kernfusionsprozesse es sind, die eigentlich wie ein Kühlmittel und damit stabilisierend wirken; sonst würde sich der Stern immer mehr aufheizen. Letzteres passiert, wenn der nukleare Brennstoff zu Ende geht. Dann reicht die Energie der Elektronen aus, den Prozess

Elektron + Proton \rightarrow Neutron + Neutrino

ablaufen zu lassen. Nun wird es dramatisch. Die Neutrinos können die Sonne praktisch ungestreut verlassen und der Stern kollabiert innerhalb von Sekunden wie ein Ballon, der an vielen Stellen durchlöchert ist. Sobald der Stern auf einen Radius von 30 km zusammenge-

schrumpft ist, kommen neue Kernkräfte zum Zug, die die Materie wieder „härter“ machen, wodurch eine Schockwelle ausgelöst wird, die heißes Material abstößt und den Stern so hell wie eine ganze Galaxie erstrahlen lässt: Von Ferne kann eine *Supernova* beobachtet werden.⁷⁹ Dieses Schicksal steht der Sonne in etlichen Milliarden Jahren noch bevor.

Das ausgestoßene Material ist nun wieder Ausgangsmaterial für einen neuen Stern, eine neue Kernreaktion in seinem Inneren und eventuell für Planeten, die den Stern umkreisen. Von Durchgang zu Durchgang, von Sterneneration zu Sterneneration, steigt der Anteil der schwereren Elemente, jener Elemente mit höherer Entropie. Ein Blick auf entsprechende Tabellen mit der im Universum anzutreffenden Elementverteilung zeigt sofort, dass unser Universum ein sehr junges sein muss; Wasserstoff und Helium dominieren alles andere.

Schon Boltzmann stellte sich die Frage, wie dieses Ungleichgewicht so lange aufrecht erhalten werden kann. Im Nachruf auf Kirchhoff sprach Boltzmann bereits 1887 von „jugendlichen Sternen“ Er fasste 1897 den kühnen Gedanken, der vom sogenannten „Wärmetod“ so stark abweichende Zustand unseres Weltalls könne einer **riesenhaften Fluktuation** zu verdanken sein. Zwar ist die Zahl der Atome des beobachteten Teiles der Welt unvorstellbar groß, aber **die Zeit** ist auch unvorstellbar groß, die zur Erreichung von Gleichgewichten wie auch andererseits zum Auftreten von Ungleichgewichten zur Verfügung steht. Es gibt neben dem sichtbaren Bereich, so sagte sich Boltzmann, andere Bereiche, und während in unserem eigenen Bereich jetzt Arbeitsleistung und Leben möglich sind, herrsche womöglich in anderen, unvergleichlich mächtigeren Bereichen gleichzeitig der absolute Tod.

1904 sagte Boltzmann bei einem Vortrag in St. Louis:

Die Mischung der verschiedensten Stoffe sowie der verschiedensten Stellen mehr oder minder lebhafter Molekularbewegung, muß eine immer gleichförmigere werden. Daß diese Mischung nicht von Anfang an eine vollständige war, daß die Welt vielmehr von einem sehr unwahrscheinlichen Anfangszustande ausging, das kann man zu den fundamentalen Hypothesen der ganzen Theorie zählen, und man kann sagen, dass der Grund dafür ebenso wenig bekannt ist wie überhaupt der Grund, warum die Welt gerade so und nicht anders ist. Aber man kann auch noch einen anderen Standpunkt einnehmen. Zustände großer Entmischung, respektive großer Temperaturunterschiede, sind nach der Theorie nicht absolut unmöglich, sondern nur äußerst unwahrscheinlich, allerdings in einem geradezu unfaßbar hohen Grade. Wenn wir uns daher nur die Welt als groß genug denken, so werden nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung daselbst bald da, bald dort Stellen von den Dimensionen des Fixsternhimmels mit ganz unwahrscheinlicher Zustandsverteilung auftreten. Sowohl bei ihrer Bildung als auch bei ihrer Auflösung wird der zeitliche Verlauf ein einseitiger sein; wenn sich also denkende Wesen an einer solchen Stelle befinden, so müssen sie von der Zeit genau denselben Eindruck gewinnen, den wir haben, obwohl der zeitliche Verlauf für das Universum als Ganzes kein einseitiger ist...

Sind wir heute einen oder gar mehrere Schritte über Boltzmann hinaus gelangt? Ich bin skeptisch. Über das Reversibilitätsparadox, also den retrograden Ablauf der Zeit in Systemen, die entgegen des 2. Hauptsatzes ablaufen – Loschmidt hat darauf in einem Einwand zum H-Theorem bereits 1876 hingewiesen -, wurde noch 1995 anlässlich des Loschmidt-Symposiums angeregt diskutiert. Mittlerweile glauben wir allerdings, uns keine Gedanken mehr machen zu müssen über ein kollabierendes Universum. Alle Daten weisen auf ein immer schneller expandierendes Universum. Aber welche Kraft steht hinter dieser Beschleunigung? Irgend etwas Fundamentales verstehen wir noch nicht. Es müssen

⁷⁹ Sollte der zurückbleibende Neutronenstern eine Masse haben, die ein Vielfaches der Masse unserer Sonne (2. 10³⁰ kg) beträgt, entsteht ein sogenanntes „Schwarzes Loch“. Eine Zeit lang meinte man, dies wäre das unwiderrufliche Ende eines durch seine eigenen Gravitationskräfte „beerdigten“ Systems. Beckenstein und Hawking konnten aber zeigen, dass Schwarze Löcher nach dem hinter der Unbestimmtheitsrelation stehenden Gesetz Strahlung und damit Energie abgeben müssen. Die thermodynamische Instabilität von Systemen mit bedeutenden Gravitationskräften ist ein Effekt, der sogar Schwarze Löcher zum Verdampfen bringt.

abstoßende Gravitationskräfte sein, was endlich eine Symmetrie bezüglich der sowohl abstoßend wie anziehend wirkenden elektromagnetischen Kräfte herstellen würde...

Eine oft gestellte Frage ist die, wie man sich die unglaublich niedrige Entropie des Universums beim sogenannten „Urknall“ vorzustellen hat. Roger Penrose hat unlängst ausgerechnet, wie groß die Wahrscheinlichkeit dafür ist, dass das Universum aus reinem Zufall eine Anfangssingularität aufwies, die der Wirklichkeit wenigstens entfernt nahe kommt. Die Wahrscheinlichkeit ist kleiner als $1: 10 \text{ hoch } 10 \text{ hoch } 123$ (Der Zahlenwert wurde nach einer Formel von Jacob Beckenstein und Stephen Hawking für die Entropie Schwarzer Löcher ausgerechnet.) Penrose leitet daraus eine Aussage über die Genauigkeit ab, die im Spiel war, als der Urknall ausgelöst wurde.⁸⁰ Er sagt, „*damit der Schöpfer den entsprechenden Punkt im Phasenraum (ein Punkt im Phasenraum repräsentiert die Positionen und Bewegungszustände aller Teilchen) treffen konnte, musste er diesen Punkt mit einer Genauigkeit von $1: 10 \text{ hoch } 10 \text{ hoch } 123$ des gesamten Volumens anvisieren.*“ Eins zu einer Zahl mit 1230 Stellen ergibt eine völlig unvorstellbare Dimension!

Was mich bei allen zugegebenermaßen interessanten Spekulationen über den „Urknall“ (die „Singularität“), für die es gewiss gute Argumente gibt, z.B. die heute recht genau vermessenen Hintergrundstrahlung, stört, besteht darin, dass immer so getan wird, als könne man sich außerhalb dieses Ereignisses bewegen. Ich bin davon überzeugt, dass alles Argumentieren „von außerhalb“ zu falschen Schlüssen verleitet. Niemand war, ist und wird sein außerhalb. Die Materie expandiert beim Urknall nicht in einen leeren Raum hinein. Der Raum entsteht mit der Expansion. Die Zeit ebenfalls.

Die Frage nach der Rolle des menschlichen Bewusstseins

In dem zu Beginn des Kapitels erwähnten Segelbootsfahrt kam auch ein Gespräch zwischen Werner Heisenberg und Niels Bohr zustande. Als bald kreiste dieses Gespräch um das Problem des menschlichen Bewusstseins. Heisenberg erinnert sich gesagt zu haben:

„Ein weiteres Argument“, fuhr ich fort, „das für die Notwendigkeit einer Erweiterung der Quantentheorie gelegentlich angeführt wird, ist die **Existenz des menschlichen Bewußtseins**. Es kann ja kein Zweifel darüber bestehen, daß der Begriff >Bewußtsein< in Physik und Chemie nicht vorkommt, und man kann auch wirklich nicht einsehen, wie irgend etwas Ähnliches aus der Quantenmechanik sich ergeben sollte. In einer Naturwissenschaft, die auch die lebendigen Organismen mit umfaßt, muß das Bewußtsein aber einen Platz haben, weil es zur Wirklichkeit gehört.“ „Dieses Argument“, sagte Niels, „sieht natürlich im ersten Augenblick sehr überzeugend aus. Wir können in den Begriffen von Physik und Chemie nichts finden, das auch nur entfernt mit dem Bewußtsein zu tun hätte. Wir wissen nur, dass es Bewußtsein gibt, weil wir es selbst besitzen. Das Bewußtsein ist also ein Teil der Natur, oder sagen wir allgemeiner, der Wirklichkeit, und wir müssen neben Physik und Chemie, deren Gesetzmäßigkeiten in der Quantentheorie niedergelegt sind, noch Gesetzmäßigkeiten ganz anderer Art beschreiben und verstehen können. Aber selbst hier weiß ich nicht, ob man mehr Freiheit braucht, als durch die Komplementaritätsüberlegung schon gegeben wird. ... Das eigentliche Problem lautet doch: Wie kann der Teil der Wirklichkeit, der mit dem Bewußtsein anfängt, mit jenem anderen zusammenpassen, der von Physik und Chemie beschrieben wird?... Hier handelt es sich doch offensichtlich um eine echte Situation der Komplementarität...“

Wie also ist dieser Komplementarität zu begegnen? Kann man sie von zwei Seiten her angehen? Und wo bleibt dann das verbindende „geistige Band“?

Aus der LSD-Forschung weiß man, dass auch das Ichbewußtsein des Menschen etwas mit bestimmten Neurotransmittern (Serotonin) zu tun hat. Man kann das Ichbewußtsein durch bestimmte psychodelische Drogen verändern. Wir wissen sogar, wo diese Substanzen

⁸⁰ R. Penrose, Das Große, das Kleine und der menschliche Geist; mit Beiträgen von A. Shimony, N. Cartwright und St. Hawking, Spektrum Verl., Heidelberg, Berlin 1998.

angreifen, es ist der *locus coeruleus*, eine Region von wenigen tausend Nervenzellen in der Nähe des Hirnstammes, von denen in die unterschiedlichsten Gehirnregionen Nervenbahnen ausgehen. Aber sind die Formeln der an den dortigen Rezeptoren gebundenen Neurotransmitter schon das, was man „Ich“ nennt? Die Antwort kann im Sinne des sogenannten Mühlen-gleichnis von Leibnitz⁸¹ nur sein: Nein.

Aber wie hängen Ichbewußtsein und physikochemische Vorgänge zusammen?

Wir wissen es nicht. Roger Penrose, Rouse-Ball-Professor für Mathematik an der Universität Oxford und Mitglied der Royal Society, publizierte 1998 eine These, wonach das Bewusstsein auf quantentheoretischer Basis behandelt werden muss. Penrose meint den Schlüssel für die Unberechenbarkeit vieler Bewusstseinsvorgänge entdeckt zu haben.

Penrose weist auf Mikrotubuli aus ca. 13 Kolonnen bestimmter Eiweißmoleküle hin, den Tubulin-Dimeren, die sowohl in den Endknöpfchen von Axonen sitzen als auch in den Dendriten. Diesen Strukturen könnte eine bedeutende Rolle bei der Informationsverarbeitung zukommen. Hier ist ein Informationsverarbeitungssystem unterhalb der Zellebene angesprochen. (Man weiß von Mikrotubuli, dass sie bei einzelligen, wie z. B. bei Pantoffeltierchen die Bewegungszustände der haarähnlichen Zilien an der Oberfläche koordinieren.) Penrose meint, dass im Inneren dieser von geordneten Wassermolekülen umgebenen Röhren Vorgänge ablaufen, die von der Umgebung isoliert sind. Solche Systeme könnten eine quantenmechanische Verschränkung aufweisen.

Abner Shimony wies in einer Antwort auf Penrose darauf hin, dass schon der berühmte britische Philosoph **Alfred North Whitehead** (1861 – 1947) 1933, aufbauend auf Leibniz' Monadologie, auf eine Grundform von Geistigkeit in der unbelebten Materie hingewiesen hat. Whitehead sagte: „*Es scheint so, als ob in den ... lebenden Körpern eine Koordination erreicht worden wäre, durch die gewisse, schon den Fundamentalvorgängen inhärente Funktionen verstärkt werden.*“ Shimony schlägt einen anderen Weg vor. Es könnte die **Möglichkeit einer quantenmechanischen Superposition** von bestimmten Konformationen der Makromoleküle geben. Derartige Moleküle könnten als Schalter in Zellen wirken. Würden zwei wohldefinierte Konformationen superponiert, hätte man ein zelluläres Analogon zu Schrödingers Katze vor sich, nämlich einen Prozess in Schwebelage zwischen Eintreten und Nichteintreten.

Folgt man Whitehead, sagt Shimony, so ist man von einer Art von Geistigkeit überzeugt, die die gesamte Natur durchdringt. Die quantenmechanische Theorie weist uns darauf hin, dass die Fähigkeit von Systemen, Möglichkeiten zu verwirklichen, in der Natur durchgängig vorhanden ist, jedoch stellt sie nur in Systemen, die sich durch „Geistigkeit“ auszeichnen, etwas dar, das nicht vernachlässigbar ist.

Alfred Locker: Vorstoß zu einer transklassischen Systemtheorie

Wiederholen wir Ludwig von Bertalanffys Definition eines Systems: Ein System erhält sich selbst. Das System ist ein Komplex von Beständen, Aktivitäten und Funktionen, die darauf abzielen, das System aufrechtzuerhalten. Der Biophysiker und Bertalanffyschüler Alfred Locker wird im nachfolgenden Beitrag darauf hinweisen, dass hier ein Selbstbezug eines

⁸¹ Leibniz stellte sich die Frage, ob man das, was man Ichbewusstsein nennt, antreffen würde, wäre es möglich, das Gehirn des Menschen auf die Größe einer Mühle zu vergrößern. Würde man zwischen den Mühlsteinen und den Rädern etc. das „Ich“ irgendwo antreffen? Die Antwort ist: nein. Das Bewusstsein ist von anderer Qualität. Es ist nicht körperlich.

Systems festzustellen ist. Ein System enthält ein „Selbst“, so formulierte er diesen Sachverhalt bei seinem Seminarvortrag am 19. November 2001 an der TU Wien. Weiters stellt der Zusammenhang eines Systems mit der Umwelt auch wieder ein System dar: ein System höherer Ordnung. Wo gibt es eigentlich kein System? Wenn alles mit allem zusammenhängt, fällt es schwer etwas zu finden, was hierbei herausfällt. Aber hat jedes System bereits Selbstcharakter?

An jedem System sind nicht messbare Voraussetzungs-Eigenschaften (V) von messbaren Gegenstandseigenschaften (G) zu unterscheiden. Zu den Voraussetzungseigenschaften zählen: Autonomie, Individualität, Organisation, Einheit, aber auch Gestalt und Ganzheit. In echten Systemen müssen V und G als Einheit gedacht werden. Dabei tritt eine echte Komplementarität zutage.

Locker betrachtet die gesamte Wirklichkeit als ein System. Zu dieser Wirklichkeit gehören wir als Beobachter. Ein Beobachter kann sich einem Teilsystem z.B. einem Modellsystem zuwenden. Ein Beobachter kann sich im von ihm ins Auge gefassten System befinden, es ist in diesem Fall von einem inneren Beobachter zu sprechen. Bezüglich seiner Modelle fungiert der Mensch als Außenbeobachter, oft aber muss er als Innenbeobachter angesprochen werden.

Die Rolle des Beobachters wurde auch von **Heinz von Foerster** (* Wien 1911) untersucht. Heinz von Foerster, der heute bei San Francisco lebt, unterscheidet triviale Maschinen, die immer nur das Gleiche machen, z.B. immer nur zu einer Zahl 2 dazuzählen, von nichttrivialen Maschinen. Über solche ist keine Prognose möglich. Deren Verhalten ist unvorhersehbar. Foerster spricht im Zusammenhang mit dem Menschen von einer **Kybernetik 2. Ordnung**. Es handelt sich dabei um Systeme der Selbstorganisation: der Ausgang der Rechenoperation wird zum Eingang. Zu derartigen Systemen gehört auch die menschliche Sprache. Sie ist eine rekursive Operation. Foerster begründete neben **Ernst von Glasersfeld** (* 1917) den **Radikalen Konstruktivismus**: In der Wissenschaft wird nicht die Welt abgebildet, sondern konstruiert. Wir konstruieren Wahrheit. Wir sind verantwortlich. Keine weiteren Aussagen sind möglich.

Alfred Locker wendet sich gegen den Radikalen Konstruktivismus und vertritt einen gemäßigten Konstruktivismus. Er widerspricht der These, dass die Ursache eines Systems nur der Mensch sei und dass nur durch den Menschen Systeme in die Existenz gebracht werden. In seinem 2. Grenztheorem der Transklassischen Systemtheorie sagt Locker: Es ist nicht möglich, die Konstruktivität zu konstruieren. Die Fähigkeit zu konstruieren ist nicht vom Menschen zu konstruieren. Damit ist die Frage des Ursprungs von Systemen aufgeworfen.⁸²

Mehrfach benutzte Nachschlage- und Übersichtswerke:

W. H. Brock, the fontana history of CHEMISTRY., Fontana Press, London 1992.

G. Bugge, Das Buch der großen Chemiker, 2 Bände, Verl. Chemie Weinheim 1974.

⁸² A. Locker, „Vorstoß zu einer transklassischen Sicht – Eine Betrachtung über den Zustand der Allgemeinen System-Theorie 25 Jahre nach Ludwig von Bertalanffys Tod“, Newsletter der Deutschen Gesellschaft für Systemforschung **8**, 1998/99, pp. 8 – 20. A. Locker; „The Present Status of General System Theory, 25 Years after Ludwig von Bertalanffy's Decease“; Avances in Artificial Intelligence and Engineering Cybernetics **IV**, 1998, pp. 8-16.

- S. Engels, R. Stolze, ABC Geschichte der Chemie, Dt. Verl. F. Grundstoffindustrie, Leipzig 1989.
- Harenberg. Lexikon der Nobelpreisträger, Harenberg Lexikon Verl., Dortmund 1981.
- K. von Meyenn (Herausgeber), Die grossen Physiker, 2 Bände, C. H. Beck , München 1997.
- W. R. Pötsch (Herausgeber), Lexikon der bedeutenden Chemiker, Verl. H. Deutsch, Frankfurt 1989.
- C. Priesner und K. Figala, Alchemie, Lexikon einer hermetischen Wissenschaft, C. H. Beck, München 1998.
- R. Sauermost (Redaktionsleitung), Lexikon der Naturwissenschaftler, Spektrum, , Heidelberg 2000.
- H.-W. Schütt, Auf der Suche nach dem Stein der Weisen. Die Geschichte der Alchemie, C. H. Beck, München 2000.

Allgemeine System-Theorie

Mit Ausblick auf ihre Weiterentwicklung zu einer Transklassischen System-Theorie

Eine Einführung⁸³

Alfred Locker †

1. Einleitung

1.1 Das Anliegen

Seit dem frühen Beginn von Wissenschaft und Philosophie hat der Mensch versucht, das, was er an Kenntnissen von sich und der Welt erwarb, zu ordnen und so entstand ein *System* des Wissens. Das griechische Wort bedeutet „Zusammengestelltes“ und entspricht ganz dem lateinischen Nomen *compositio*; die erworbene Kenntnis muß gewissen Prinzipien entsprechend ausgerichtet sein. Daher kann man schon eine klassifikatorische wie eine relationale Seite am System (S) erkennen; erste begrenzt, letztere ermöglicht Aufstieg ins Unbegrenzte. Das führt dazu, daß eine Lehre vom System selbst - was sie wohl weitgehend von üblicher Wissenschaft unterscheidet - vor allem danach fragt, wie und auf welche Weise sie zu ihrem Wissen kommt. Sie hat sich also nicht vordergründig mit Gegenständen von Natur, Gesellschaft oder Wirtschaft zu befassen, sondern vor allem kritisch mit sich selbst; das bedeutet nicht einen Narzismus, sondern Selbstreflexion, womit sie sich zugleich als *Meta-Wissenschaft* charakterisiert. Also übertrifft sie in gewisser Weise die übliche Wissenschaft, ist so für alle Wirklichkeitsbereiche (und deren wissenschaftlicher Behandlung) - einschließlich des sie selbst konzipierenden Menschen - zuständig und kann daher auch als *Universal-Wissenschaft* angesehen werden.

In diesem Bemühen trifft sie sich mit der Philosophie, verwendet aber im Unterschied zu dieser auch Methoden, ohne welche die Philosophie im allgemeinen auszukommen meint, nämlich Mathematik, sodaß wir schon beim ersten Blick auf sie Unterschied wie Zusammenhang und *formalen* mit inhaltlichen (*materialen*) Zugängen erkennen können. Doch sei gleich am Anfang der Betrachtung dem Mißverständnis entgegengetreten, daß die sich mit Systemen beschäftigende Meta-Wissenschaft - die den Namen *Allgemeine System-Theorie* (AST) erhalten hat - neue Einzelbefunde o.dgl. erstellen könnte, die einer Einzelwissenschaft nicht zugänglich wären. Was sie anstrebt und auch erreichen kann, ist ein Überblick und eine Zusammenschau, die über die von den sonstigen Wissenschaften erreichte hinausgeht. Wegen ihres Ansinnens, das *Ganze* der Wirklichkeit zu erfassen, ist sie mit der Ganzheitslehre ebenso verwandt wie mit der Lehre von der *Gestalt*, wie wir noch näher erläutern werden.

In vorläufiger Kennzeichnung sei AST als *Brückenwissenschaft* aufgefaßt, die Ergebnisse der Einzelwissenschaften mit der Grundlage aller Wissenschaften, der Philosophie, verbindet, indem sie einen Zusammenhang der Beantwortung der „*was*“-Frage mit der „*wie*“-Frage sieht, d.h. „*Wesen*“ als Grundlage von „*Funktion*“ versteht. Aber wir müssen zu tieferem Verständnis gelangen. Dieses wird sich einstellen, sobald wir erkennen, daß die AST (und

⁸³ Mit der Veröffentlichung dieses Textes, den Prof. Locker im Wintersemester 2002 noch selbst im Seminar vorgetragen hat, kommt R. W. S. einem Prof. Alfred Locker (1922 – 2005) gegebenen Versprechen nach. Leider konnte Prof. Locker die Literaturzitate nicht mehr selbst in den Text einfügen, sodass alle Zitate am Ende des Beitrages gesammelt werden mussten. Die alte Orthografie wurde beibehalten, Tippfehler eliminiert. Ein Nachruf auf Prof. Alfred Locker wurde von Richard Jung veröffentlicht: *Kybernetes*, 34, 2005, pp. 1665f.: <http://www.richardjung.cz/05b.pdf> Eine Bibliografie Lockers findet man in: <http://www.systemsresearch.cz/bert2.pdf>

dies besonders auch in ihrer weiteren Ausgestaltung) keine Wissenschaft im üblichen Sinn dar- stellt und infolge ihrer exzeptionellen Position sogar die paradoxe Bezeichnung einer *Nicht-* wissenschaft wie die einer *Überwissenschaft* verdient . Aber auch aus anderen Über- legungen sollte sich die AST von allem Bisherigen grundsätzlich unterscheiden

1.2 Blick in die Geschichte

Hat man das Ganze im Auge, z.B. das Ganze einer uns vertrauten Gegebenheit wie des lebenden Organismus, so wird man dazu etwas voraussetzen müssen, was schon von Aristoteles erkannt worden ist und (weil es dem Denken über eine Sache entspringt) in seiner Geltung über einen empirischen Zugang hinausgreift, als intuitive Erkenntnis daher immer wahr ist und, in moderner Version, lautet: „Das Ganze ist mehr als die Summe der Teile“. Was hier als quasi-unbedingte Feststellung getroffen ist, hat auch methodische Gültigkeit, wie sie dem Vertreter der Einzelwissenschaft wie Physik oder Chemie vertraut ist, da das Ganze der erforschaen Wirklichkeit immer das übersteigt, was mittels der Wissenschaft von ihm (immer nur als bruchstückhafte Teile) erkennbar wird, was sogar für große Theorien der Physik (RT, QM) - trotz der Versuche ihrer Vereinheitlichung - oder der Biologie (ET) zutrifft. So ist der System-Begriff von Anfang an mit einer *Problematik* belastet, die sich in neueren Entwicklungen auf eine AST hin (und viel mehr noch bei einer Überschreitung derselben) verstärkt, aber nicht immer wahrgenommen wird.

Die mittelalterlichen „Summen“ - etwa des Thomas von Aquin - lassen auch die durch die Zeit hindurch bestehende Tendenz erkennen, das Gesamtwissen einheitlich zu ordnen, bis es zum Auftreten von philosophischen Gesamtlehren, vorher aber schon von wirtschaftlichen Systemen (wie dem Merkantilismus), also Bemühungen um einen geordneten Ablauf der Volkswirtschaft kam. Einen ersten theoretisch/philosophischen Höhepunkt erreichten diese Bestrebungen im 18. Jahrhundert: Nicht nur Leibniz' „Monadologie“ war ein System, die „Kritiken“ Kants stellen eine die Wirklichkeit umfassende System-Philosophie dar und eine Kulmination erfuhr letztere im Werk Hegels. Zugleich aber brachte diese Periode eine Betrachtung des Systembegriffes (und seiner Anwendungsmöglichkeiten) selbst hervor, vor allem durch den Mathematiker und Physiker J.H. Lambert (1728-1777), der sich in mehreren Ansätzen um eine „Systemologie“ bemühte, und in der „Encyclopédie“, für die ein sonst nicht sehr bekannter Autor, L. de Jaucourt, einen Artikel „Système“ verfaßte. Doch blieben diese Ansätze schon bei Zeitgenossen nicht unwidersprochen; auf diese Kritiken werden wir später eingehen müssen.

Nach einer Periode relativer Stille um die Systembetrachtung erfuhr diese erst wieder zur Wende vom 19. zum 20.Jahrhundert eine direkte (oder indirekte) Auferstehung: Zunächst durch C. Hauptmann (1893), der erstmals die system-dienliche, schon erwähnte Selbst- bezüglichkeit der Teile, ihrer Struktur und Funktionen (zur Erhaltung des Ganzen) erkannte; vor allem aber durch den Wiener Universalgelehrten Ludwig v. Bertalanffy (1901-1972), der, von einer „organismischen Theorie“ in der Biologie ausgehend, zur „Theorie des Fließ- gleichgewichts“ und schließlich zur AST selbst gelangte, deren Neubegründung sein großes Verdienst ist. Entscheidend war für ihn, daß ihm verblüffende Ähnlichkeiten in den Strukturproblemen bei Lösungen der für verschiedene Wirklichkeitsbereiche zuständigen Wissenschaften auffiel, sodaß die Gemeinsamkeit und Allgemeinheit derselben eine eigene Behandlung (mit Ausarbeiten von dafür geeigneten Methoden) nahelegen konnte. Zunächst verwendete er den Ausdruck System-Lehre und befand sich damit sowohl im thematischen wie auch im ungefähren zeitlichen Zusammenhang mit ähnlichen Vorstößen, die ebenfalls von Österreich ausgingen, nämlich der von Christian v. Ehrenfels (1859-1932) begründeten Gestaltlehre und der von Othmar Spann (1878-1950) wiederbelebten Ganzheitslehre . Diese

Wissenschaftszweige bilden einen Markstein im Erklimmen von Überblicken zur Beurteilung der geistigen Menschheitssituation und stellen auch Möglichkeiten dar, Gesichtspunkte zu entwickeln, die ihr gestatten, aus ihrer gegenwärtigen Krise - Stichwort: Globalisierung - herauszukommen.

Was die AST selbst betrifft, so spaltete sie sich allerdings bald in eine formal / mathematische wie auch in eine mehr inhaltliche, an konkreten wissenschaftlichen Problemen orientierte Vorgangsweise; einige davon sind in jüngster Zeit dargestellt worden. Über die Chancen, eine solche Spaltung methodisch zu überwinden und überhaupt auf dem Boden der AST neue Wege zu beschreiten, werden wir im Zuge unserer Erörterung Überlegungen anstellen müssen. Allerdings müssen wir an dieser Stelle der Betrachtung die Bemerkung fallen lassen, daß es *verschiedene* Systemtheorien gibt, u.zw. zunächst solche, die sich mit mathematischen Methoden (z.B. als Dynamische Systemtheorie) vor allem technischen Problemen zuwenden; andere, die ebenfalls anwendungsorientiert, die Brauchbarkeit von Systemüberlegungen für diverse Wissenschaften darzulegen suchen, und schließlich solche, die vielleicht mehr als *Systemideologie* denn als echte Systemtheorie anzusprechen sind, weil sie ideologische Vorurteile quasi-systematisch auf bestimmte Einzeldisziplinen wie z.B. die Soziologie ausdehnen und das Unternehmen noch dazu täuschend mit dem Titel Systemtheorie schmücken. Außerdem wird hier häufig das Adjektiv „allgemein“ vermieden und bereits dadurch kenntlich gemacht, daß andere Intentionen als die hier niedergelegten dahinterstecken. Von letzteren muß besonders betont werden, daß sie auf der Basis des Ansatzes v. Bertalanffys für eine AST stehen, wengleich sie eine Weiterentwicklung derselben darstellen.

2. Aufschlußreiche System-Definition

2.1 Die Problematik der Mehrdeutigkeit

Streng genommen, ist es von einer wissenschaftstheoretisch einigermaßen fundierten Basis aus kaum legitim den Gegenstand einer Wissenschaft - in unserem Fall also das System (**S**) - zu definieren (oder auch nur zu umschreiben), ohne die ihm entsprechende Wissenschaft, - also die AST - vorher bereits vorliegen zu haben. Viel zu wenig wird allerdings bedacht, daß hier bereits ein grundsätzliches Wechselverhältnis vorliegt, demgemäß das eine oder das andere nicht sinnvoll in Angriff genommen werden kann, was einzusehen selbst bereits eine system-theoretisch zu bezeichnende Erkenntnis ist. So scheint es also, daß man überhaupt nur von einem intuitiven Verständnis von einem selbst - wir sprechen später von der Stellung des Beobachters - an die Problematik herangehen kann; anders gesagt, ich muß schon verstanden haben, was ein **S** ist, ehe ich es umschreiben kann. Daran ist erkennbar, daß wir beim Eintritt in die **S**-Problematik in einen *Kreis* geistiger Bewegung hineingezogen werden, was anscheinend schon den Begründern der „Encyclopédie“ (1751-80) - aus der Namensgebung ersichtlich - bewußt war, später aber anscheinend nicht mehr so deutlich vor Augen stand.

System ist ein Begriff der Wissenschaft, die ihre Kenntnisse systemhaft - d.h. als einen Zusammenhang -, ordnen will; diese Ordnung kann aber zum Zwang entarten, vor allem, wenn das, was sich dieser Ordnung - oder der diese Ordnung herbeiführender Devise (wie der galileischen)¹ - nicht fügt, von ihr (als unwissenschaftlich) ausgeschlossen wird. Die Tätigkeit dieser als System auftretenden Wissenschaft besteht u.a. im Analysieren, Klassifizieren, Herstellen von Relationen usw., wobei ein „gesichertes Gebäude“ des Wissens, gleichsam zeitlos gültig, angestrebt wird. Die Gesamtheit der Ergebnisse, etwa im Sinne einer Theorie, wird besonders auch in der Philosophie als System bezeichnet, aber von der Wissenschaft dadurch unterschieden, daß der Begründer einer bestimmten „Weltsicht“ zugleich mitgenannt

wird, sodaß man z.B. vom Hegelschen System spricht. Von diesen beiden, einander ganz ähnlichen Bedeutungen sticht nun diejenige ab, die in der AST im Vordergrund steht - obwohl sie natürlich die vorangehend genannten auch mitnehmen muß -, weil sie sich mit Gegenständen beschäftigt, die selbst System genannt werden. Es ist vor allem in Bezug auf diesen zuletztgenannten Sinn, daß eine System-Definition vonnöten wird.

2.2 Mögliche System-Definitionen

Aus diesem intuitiven **S**-Verständnis heraus - das dem Selbstverständnis des **S**-Bedenkers (oder **S**-Entwerfers) korrespondiert - können wir sagen:

Def. 1: *Ein System ist ein Gebilde, das durch sich selbst definiert wird.*

Nicht nur treffen wir hier - wie im Text schon mehrmals angedeutet - auf den Akk. des rückbezüglichen Personal-Pronomens „sich“, sondern auf das zunächst indeklinierbare Adjektiv und Pronomen „selbst“; die Bedeutung sprachlicher Ausdrücke deutet sich an, wenn wir die Frage stellen, wie zu einer solchen Definition gekommen werden kann. Es bedarf keines großen Nachdenkens, um einzusehen, daß die Definition des Systems (a) zum Ausdruck bringt, daß es mit sich *identisch* ist und (b), daß sie außerdem *analog* zur Charakterisierung des **S**-Konzipierers, also des Menschen ist, der sich intuitiv (vielleicht auch naiv) als **S** versteht, indem alles, was er ist, er selbst ist, d.h. auch alles an ihm sich auf ihn bezieht. Die Selbstbezeichnung Gottes (Ex 14,..) „Ich bin, der ich bin!“ kann sein Ebenbild Mensch durchaus übernehmen und sie dann auf ein ihm ähnliches Gebilde, nämlich das **S**, anwenden bzw. übertragen. Man kann daher behaupten, daß das Selbst (= Subjekt) des Definierers gewissermaßen in die Definition „eingeht“, was allerdings noch näher zu erläutern ist. Dementsprechend ist auch zu sagen:

Def. 2a: Ein System kann nur durch *ihm Ähnliches* erfaßt werden; wofür die klassische **S**-Umschreibung steht, die v.Bertalanffy gibt, die, etwas verändert, wie folgt lautet:

Ein **S** ist ein Komplex von Gegebenheiten, der sich selbst in seiner Zusammensetzung, im Wechsel seiner Bestandteile, in der Auseinandersetzung mit seiner Umgebung, erhält. Diese Eigenschaft muß sich in einer formalen Definition durch Auftreten des **S**-Terms im Definiendum wie im Definiens darstellen, z.B. als

Def. 2b: $S = f \{ S(T, V, Z, \ddot{U}) \}$ mit: T: Teil, V: Verbindung (in statischer bzw. Z: Zustand, \ddot{U} : Übergang (dynamischer Betrachtung).

Bedenkt man diese Umschreibung, dann werden in ihr *zwei Bereiche* einander kontrastiert, nämlich (a) der sich erhaltende, beständige am **S** and (b) der dauernd wechselnde, womit eine Grundeigenschaft am **S** zum Vorschein kommt, die in einer weiteren Definition näher herausgehoben zu werden verdient. Dazu kommt aber die Frage, wieweit zumindest der letztere (a) je nach der Zugangsweise differiert oder (b) unabhängig davon dem **S** objektiv (und unter allen dem Beobachter möglichen Aspekten) zukommt. Hier stoßen wir zum ersten Mal auf das Problem der *Komplementarität*, die Unterscheidung wie den Zusammenhang von differierenden Eigenschaften am **S**, das später noch näher behandelt werden soll.

Def. 3: Ein System weist wesentliche, gleichbleibende Eigenschaften und komplementär dazu sich (zeitlich) verändernde Charakteristiken auf, die (a) entweder prinzipiell oder (b) aspektabhängig dem **S** zugehören. Damit besteht für jedes System auch Einheit in der *Differenz*.

Genauer besehen, bedeutet das, daß wir immer auch vom gleichzeitigen Vorliegen von nicht-A, nicht-E usw sprechen müssen, die zwar den positiven Kennzeichnungen (qualitativ) nicht gleichwertig sind, aber doch zu ihnen in gewissem Gegensatz stehen. Weiter bedeutet es, daß die „Summe“ (besser natürlich: das „Ganze“) dieser Eigenschaften, mittels derer wir dem **S** nähertreten wollen, die die Einheit oder das „Wesen“ des **S** charakterisieren wollen, immer auch in der Gefahr stehen, das „Wahre“ am **S** eigentlich zu verfehlen.

2.3 Kognitiv-Domäne und Domänen-Gliederung überhaupt

Die Lage, die der Mensch einnehmen muß, wenn er von einem **S** sprechen will, ist am besten dadurch veranschaulicht, daß er sich in eine *Domäne* gestellt sieht, d.h. einen Bereich von zusammengehörigen „Entitäten“, der zunächst von ihm selbst und dem **S** als seinem Gegenüber konstituiert wird. Dieser Bereich unterscheidet sich von anderen Bereichen, was wieder heißt, daß von ihm aus sich die Erkenntnis einstellt, daß die Wirklichkeit keine einheitlich homogene „Masse“ bildet, sondern aufgliederbar ist und die in (oder an ihr) bemerkbar werdenden Teil-Bereiche eben den ihnen eben verliehenen Namen verdienen. Nicht ganz unähnlich dazu und doch wieder unterschieden, wird auch die Bezeichnung „Kontextur“ gebraucht (s. auch 3.3).

Die mit der Erkenntnissituation verbundene Domäne wird *Kognitiv-Domäne* genannt, wobei System (**S**), Beobachter (**B**) und Wirklichkeit selbst als Säulen einer triadisch strukturierten Erfahrung aufgezeigt werden können; sie zeigt darüber hinaus auch ihr Eingebettetsein *in* sowohl als auch ihren **V**-Charakter *für* weitere Domänen (s.u.). Es hängt von der vom **B** angewandten Methode ab, was er im Umgang mit dem **S** von diesem erkennt. Im Zustand des *Betroffenseins* - wir werden ihn später mit Wahrnehmung in Verbindung bringen und den **B** besser Wahrnehmer nennen -, erfaßt er das **S** als weiter nicht in Frage zu stellende Gegebenheit; in der sich ihm öffnenden Sphäre des Verstehens ist alles mit Bedeutung besetzt. Entschleßt sich der **B** aber zu aktivem *Zugreifen* - wir werden dies als die ihm spezifisch zukommende Haltung erkennen -, dann erhebt er zwar das **S** in exaktere Begrifflichkeit, reißt es aber aus einem größeren Zusammenhang heraus. Bezieht sich dieses Aktivität gar auf die Wirklichkeit selbst, so verwandelt sie diese methodisch in Realität, d.h. empirisch feststellbare Dinglichkeit. In Konformität dazu wird auch das **S** - dem in ursprünglicher Begegnung noch ein „an-sich“-Zustand (zumal in Verbindung mit Gestalt und Ganzheit) zuerkannt wird -, in eine erzeugte und zugleich in Besitz genommene Sache, das Modell.

Die Kognitiv-Domäne, da sie zugleich eine Aktions-Domäne ist, weist einen deutlichen Zusammenhang mit dem auf, was der amerikanische Philosoph Ch.S. Peirce (1839 -1914) „*Semiose*“ nennt ; hierbei wird eine (zeichentheoretische) Unterscheidung von Objekt, Modell und Interpretanten gemacht, also jener Teil der Kognitiv-Domäne besonders hervorgehoben, der sozusagen 2.Grades (oder in abgeleiteter Form) auftritt.

2.4 Die Definitions-Uneindeutigkeiten

Da die AST keine ausschließlich rein formale, d.h. mathematische Disziplin ist, richtet sie ihr Augenmerk auf „reale“ Systeme; würde sie sich aber auch nur auf das Formale, Relationale beschränken, vermöchte sie mit dieser Methode auch an letzteren nur Funktions- und Struktureigenschaften festzustellen, niemals aber mehr, vor allem nicht, „was“ ein **S** eigentlich ist. Durch die oben genannten Definitionen wurde versucht, diesem Manko abzuhelpen, aber auch sie können nicht mehr als Fingerzeige auf das sein, was sie nicht

enthalten (!), das aber, wenn wir die „galileische“ Einseitigkeit vermeiden wollen, dennoch in die Betrachtung einbezogen werden muß.

Daher kann, je nach dem Ansatz, mehr oder minder alles als **S** gesehen werden; z.B. das **S** Organismus und seine Umwelt, die wieder z.B. als Ökosystem betrachtet wird, zumal es viele Arten von (Unter)-Systemen, so könnten wir jetzt sagen, enthält. Aber die Unbestimmtheit des **S**-Begriffs kann auch darin bestehen, daß man etwas als **S** ansieht, bloß weil es einer bestimmten Definition³ gehorcht, dabei aber auf die Selbstbezüglichkeit der **S**-Bestandteile und damit des **S** selbst vergißt. In der (reduzierten) mathematischen Form der AST wird meistens so vorgegangen und damit das Eigentliche einer **S**-Erfassung versäumt. Man kann aber wieder den allseitigen **S** Zusammenhang leugnen und sich nur auf Detailbefunde oder Einzelheiten einschließen, isolierte Vorkommnisse als Studienobjekte benützen, was ja das Anliegen der analytischen Wissenschaftstheorie ist, welche aber die damit möglicherweise (in begrenzten Gebieten) erreichte Exaktheit mit dem Verlust des großen Überblicks zu bezahlen hat.

Ein Nachtrag wäre anzubringen: Durch unsere Beschreibung wären zwei Arten vom **S** erkennbar: (a) das *echte S*, das die Dreiheit **V (V,G)** wenigstens implizit - als „Infrastruktur; wie man sie auch nennen kann - in die Beschreibung aufnimmt und (b) das *unechte S*, für das diese Unterscheidung nicht gemacht wird, sodaß man sich allein auf **G**-Gegebenheiten stützt. Zu letzteren gehören gewöhnlich **S**-Theorien, erkennbar ist diese Haltung auch an der Rede davon, daß wir in einem Planeten-**S** leben, überall dort also, wo die Subjekt-Analogie gänzlich ignoriert wird. Eine formal-mathematische ST nimmt vielleicht eine Mittelstellung ein - wenn wir die Formen als Ausdruck der **V**-„Prinzipien“ sehen, zumal diese auch als bestimmend für (reale) **G**-Gegebenheiten angesehen werden könnten.

2.5 Ausblick auf Wissenschaftstheorie

Ein wesentlicher Einwand soll bereits vorweggenommen werden; die AST bertreibt (oder begründet) Wissenschaftstheorie in anderer und umfassenderer Weise als es die letztgenannte Disziplin tut; sie gründet nämlich nicht allein auf Rationalität, sondern auf Anschauung und produktive Einbildungskraft, daher sie immer auch ihre Vorbereiche in der Form von sie umfassenden und voraussetzenden Meta-Theorien explizit in Betracht ziehen muß, welche da sind die Gestaltlehre und die Ganzheitslehre. Die notwendige Zusammengehörigkeit dieser Lehren wird daher „*Synologie*“ genannt.

Die **S**-Definitionen sind immer Ausdruck des Faktums, daß das Erkannte die *explizite* Exposition des (oft unbewußt) *implizit* Angenommenen ist; daher kommen wir schon an dieser Stelle zur Hermeneutik . Sie ist die Lehre vom *Verstehen*; dieses muß ziemlich augenblicklich erfolgen und setzt erst nachträglich die Prozesse in Gang, die das Verstehen plausibel machen. Ursprünglich in der Geisteswissenschaft angesiedelt, gewinnt sie jetzt auch immer mehr Bedeutung für die Naturwissenschaft - soferne sie allgemeine Zusammenhänge darlegen will - und für die AST; denn während das *Erklären*, d.h. Einbauen in einen bereits bestehenden größeren Zusammenhang - nie an ein Ende kommt (es sei denn, man beschließt es gewaltsam oder mittels Übereinkunft), ist *Verstehen* eines Sachverhalts gleichzusetzen mit dem Zur-Ruhe-Kommen des Erkenntnisvorgangs, der zu einem bestimmten Resultat geführt hat. Es tritt aber dabei auch der sog. „hermeneutische Zirkel“ auf, dergestalt, wie Heidegger in seinem Werk „*Sein und Zeit*“ sagt, „alle Auslegung“, - d.h. die Ausbildung des Verstehens - „die Verständnis beistellen soll, schon das Auszulegende verstanden haben muß“, weshalb eine *Zirkel*-Struktur auftritt, die nur zunächst nichts mit einem logischen Zirkel (d.h. einem Denkfehler) zu tun zu haben scheint. Näheres Bedenken wird uns allerdings zeigen, daß die

Kreisstrukturen, welcher Herkunft auch immer sie sind (und von denen wir noch einige kennenlernen werden) innerlich zusammengehören.

3. Zur System-Beschreibung

3.1 Subjekt- und Substanz-Analogie des Systems

In diesem Abschnitt werden wir auch den *Entwurf* des **S** zu diskutieren haben - also auch das Ursprungsproblem - und die Erscheinung, daß die unvermeidliche Selbstreferenz (oder *Autologie*) in bestimmter Weise widersprüchlich ist, weil sie immer auch das Nicht-Eigene - und doch paradox Dazugehörige der *Allologie* (des gewissermaßen **S**-fremden und doch mit ihm unlösbar Verbundenen) mitnehmen muß; ebenso wie das ganz Fremde der *Heterologie*, das zum **S** in keine Beziehung gebracht werden kann. Da muß nicht nur der Gedanke weiterentwickelt werden, *wieweit* eine Analogie geltend gemacht werden kann, sondern es ist überhaupt über die beiden begrifflich faßbaren Eigenschaften, mit denen das **S** analog sein soll, etwas zu sagen.

Die entscheidende Angelegenheit ist nämlich, daß vom **S** nur im Hinblick auf den **S**-Entwerfer (den wir den Designer oder Entwerfer nennen, u.U. auch den Theoretiker der AST oder Beobachter), sinnvoll gesprochen werden kann; **S** „an sich“ gibt es nicht, weshalb der **S**-Begriff oft weitgehend mit dem *Modell*-Begriff (**M**) ineinsgehend angesehen wird und eine Modell-Theorie zu einem integrierenden Bestandteil der AST macht. Aber das Problem darf nicht zu einfach genommen werden; denn zusammen mit seiner **M**-Natur hat das **S** auch wieder ihm allein zukommende Eigenschaften, die es mit dem das Erkennen den (und/oder entwerfenden) menschlichen Subjekt teil. Erstere werden dem **M** bewußt, überlegt, ausgewählt nach bestimmten Kriterien, zugeschrieben; letztere muß ein **S** immer haben, weil es - und das ist unsere Grundannahme - in denselben dem Subjekt entspricht; es sind die von uns so-geannten **V**-Charakteristiken (s.u.).

Da das **S** letztlich aber der Wirklichkeit zugewandt ist - und nicht rein formal bleiben darf - muß ihm auch *Substanz*-Eigenschaft zugeschrieben werden, der wiederum dem analog ist, was in der Natur als Paradigma für **S** existiert, dem Organismus im allgemeinen und dem Menschen im besonderen.

Beide fundamentalen Eigenschaften (die wiederum die ursprüngliche **S**-beschreibung mit Hilfe der sog. AEIOU-Kennzeichen (s.u.) ergänzen müssen) sind aber keine statischen Gegebenheiten, sondern dynamische; das **S** muß auch von seinen Grundlagen her - und nicht nur in seiner empirisch wahrnehmbaren Äußerungen - als höchst beweglich und lebendig angesehen werden. Wir müssen dies *S-Tätigkeit* nennen. Ja noch mehr, im abgeleiteten Sinn von **S**-„*Geschichte*“ zu sprechen, ist nicht abwegig, wenn wir im Auge behalten, daß echte Geschichte immer auch Reflexion der in ihr tätigen Tätigen oder in sie passiv Einbezogenen auf sie bedeutet.

Im einzelnen haben wir uns die das **S** (in Subjekt-Analogie) beherrschende Dynamik als Wechselbestimmung einander *entgegengesetzter* Tätigkeiten vorzustellen, die es erlaubt, vom *Grund* (oder dem das **S** ermöglichenden Bereich) und dem *Hervorgang* (d.h. der Schöpfung aus diesem) zu sprechen. Vom **S** her gesehen, bedeutet dies zugleich die *Rückwendung* (oder Rückverbindung) zu seinem Ursprung. Sie zu sehen, ist auch die Folge einer „Urteilung“- so sagt (und schreibt) es der Dichter Hölderlin - , durch die das Allverbundene zum Getrennten und damit erst zum Bewußten wird, sobald wir annehmen, daß nur die erlebbare Einheit des Bewußtseins die Grundlage dafür ist, von der Einheit eines **S** zu sprechen.

Aber dieser Rückbezug muß - wird das menschliche Subjekt zum Ausgangspunkt für die Analogie des **S** zu ihm genommen - unvermeidlich von ersterem her gedacht werden. Nur dadurch, daß der Fixpunkt (oder Grundbereich) von dem sich das Subjekt als abhängiges sieht, (a) als außerhalb von ihm liegend erkannt und (b) als solcher anerkannt (und damit einer Beliebigkeit enthoben) wird, entkommt das Subjekt dem Dilemma der Selbstreflexion - d.h. sich in dem sich immer höher schraubenden, nie an ein Ende kommenden Zirkel selbst zu verlieren. Doch ist es von dem weiteren Dilemma begleitet, daß selbst mit Anerkennung des Vorbereichs die Objektivität des Subjekts (d.h. auch des **S**) nicht sichergestellt ist. Überhaupt besteht aber das Dilemma, daß man von einem **S**, dem man - gewissermaßen als dessen Teil, z.B. als Beobachter - zugehörig ist, keine vollständige Erkenntnis erlangt.

Schon bei dieser - auf Subjektanalogie beruhenden **S**-Betrachtung - nehmen wir am **S** auch Schichten, Stufen o.dgl. wahr, die gemeinlich das **S** als hierarchisch aufgebaut erscheinen lassen. Von der Subjekt-Analogie her sind die beiden „Schichten“ des *Ich* und des *Selbst* auseinanderzuhalten, die zu differenzieren sind. Von der Selbsterfahrung des Menschen her - dem Ausgangspunkt der **S**-Konzeption - gesehen, ist letzteres die umfassendere, bereits vorliegende, einfach gelebte, auf sich selbst bezogene Seite, die aber nicht vom Subjekt sich notwendig bewußt gemachte, reflektierte Anteil seiner selbst, während die ausdrücklich reflektierte Seite von ihm das bewußte Ich ist - eine Trennung, die an die erwähnte Urteilung erinnert.

3.2 Problem der Komplementarität (und anderer System-Gegensätze)

Aber das ist kein Grund zur Verzweiflung, denn es existieren Methoden, die es erlauben, diesen Schwierigkeiten zu begegnen und sie vielleicht sogar zu beherrschen. Eine davon ist mit dem Begriff der *Komplementarität* zu kennzeichnen, der das Zusammengehören des Gegensätzlichen (zunächst oder definitiv nicht Zusammenpassenden) meint. Schon mehrmals erwähnt, ist es an dieser Stelle notwendig, in eine nähere Beschreibung davon einzutreten. Der sprachliche Ausdruck bezeichnet die Erkenntnis, daß wir auf keinen Fall einen eindeutigen, quasi-selbstverständlichen Zugang zum **S** besitzen, sondern immer in Rechnung stellen müssen, daß wir von ihm (gleichsam mit einem „Doppelblick“) *zweierlei* festhalten können: Dies sind z.B. die oben genannten dualen Gegebenheiten, aber auch jene Eigenschaften, die beim Erfassen eines Sachverhalts, dem wir den Begriff des **S** zuordnen, *von uns* selber stammen, gegenüber solchen, die uns mit üblichen Methoden wissenschaftlicher Erkenntnis zugänglich sind und *von ihm*, dem **S**, dafür geliefert werden.

Erstere nennen wir die *Voraussetzungs-* oder **V**-Eigenschaften, letztere die *Gegenstands-* oder **G**-Eigenschaften. Für erstere, die sich nicht ändern können, aber notwendig zu jedem **S** gehören, haben wir den mnemotechnischen Ausdruck AEIOU-Eigenschaften vorgeschlagen, weil A (Autonomie), E (Existenz), I (Individualität bzw. Identität), O (Ordnung) und U („Unität“ oder Einheit) sie aufbauen, aber in Wirklichkeit alle ein und dasselbe sind. Das gab allerdings nur eine vorläufige Darstellung, die durch weitere Ergebnisse zu korrigieren war.

Wie schon erwähnt, müssen wir, sobald wir aber der Def. 3 gerecht werden sollen, allen **V**-Eigenschaften bereits die ihnen entgegenstehenden, gleichfalls zum **S** gehörigen, negativen Eigenschaften zuordnen, also z.B. gegen Autonomie Heteronomie setzen, gegen Existenz Existenzgefährdung mit drohender Nicht-Existenz, gegen Individualität die Drohung ihres Verlusts, gegen Ordnung das Chaos und gegen Einheit die Vielheit. Eine wesentliche Frage ist, wohin nun die gegensätzlichen Eigenschaften gehören; sind sie schon und ausschließlich

G-Eigenschaften oder bloß negative **V**-Eigenschaften (also etwas, was von deren positiver Seite umfassen wird) oder sind sie, was wohl am ehesten zutreffend ist, beides ?

Komplementarität bedeutet, daß eine eindeutige, fixe, definitive **S**-Beschreibung nicht gegeben werden kann; die Situation der Unerfaßbarkeit des **S** kann sich bis zum *Paradox* steigern, dem gänzlich der Rationalität Widersprechenden, das für sich absurd, weil dem Verstand, ja der Vernunft nicht mehr zugänglich erscheint, damit (scheinbar oder definitiv) ein unlösbares Problem darstellt; es kann nur akzeptiert, aber nicht mehr weiter verarbeitet werden. Doch gibt es auch hier wieder eine Möglichkeit, die weiterhilft und das ist die Übertragung in die transklassische Sichtweise (s.u.), die das Problem in einem anderen Licht erscheinen läßt.

Eine Zwischenbemerkung zum Zusammenhang mit *Dialektik* wäre hier angebracht, sie wird neuere Entwicklungen allerdings auch kritisch ausleuchten und nicht einfach ohne Bedenken akzeptieren.

3.3 Systemgliederung

Dazu zählt: (1) E-G-Verbindung (die auf rationaler Trennung beruht); (b) Vollzug und Gehalt (die vernunftgemäß vorgenommen wird und das letztere als das Eigentliche des ersteren erkennt) (c) Domänen: (a) Zugangsdomänen I wie die Kognitiv-Domäne, - die oben schon erläutert worden sein muß -, die Seins-Domäne usw ; (b) Zugangsdomänen II wie Beobachtung und Wahrnehmung; letzteres wird noch ausführlicher darzulegen sein.

3.4 System-Beschreibung und Sprach-Problem

Geht man an das **S** mit den für die wissenschaftliche Zugangsweise charakteristischen *Epi-Sprachen* heran - d.h. solchen, die ein Mittelding zwischen formaler Darstellung und sprachlicher Erläuterung derselben sind, also in dem Ideal der Mathematik folgender Weise -, dann gerät man bei der **S**-Beschreibung bald in das Dilemma der Unübersichtlichkeit und Unhandlichkeit (hier auch *Auseinandersetzung mit Reisinger* - der Kant und Hegel verarbeitet und darauf rekurriert, daß die für Beschreibung erforderlichen a-priori-Formen sich aus den zwei Seiten Spontaneität / Rezeptivität aktional zusammensetzen und nichts Ontologisches sind).

Wir müssen nämlich beim Epi-Sprachenzugang mehrere Sprachen voneinander unterscheiden, und zwar eine exekutive Sprache, in der das **S** seine eigene Tätigkeit anzeigt, ferner eine präskriptive Sprache, in der die **S**-Tätigkeit vorgeschrieben wird und schließlich eine deskriptive Sprache, die die Tätigkeit des **S** beschreibt und damit erfaßt. Aber da sie zueinander komplementär sind, z.T. daher bereits das **S**-Verhalten auszeichnende Phänomene der Autologie zeigen, treten bei diesem Zugang unbehandelbare Schwierigkeiten auf, die nur verschwinden, wenn es uns gelingt, die das **S** wirklich betreffende (sozusagen unverwechselbar von ihm selbst gesprochene) *Eigensprache* zu rekonstruieren. Auch das kann wieder nur im Analogie zum **S**-Entwerfer als Subjekt gelingen und bedeutet das Herauskommen aus dem „predicament“ der Epi-Sprach-Anwendung.

Das Problem der dem **S** ganz gemäßen, unverwechselbaren Sprache wird in seiner ganzen Fülle und Tiefe wohl nur dort zum Tragen kommen, wo wir die AST in eine TKST übergeführt haben werden (s.u.).

4. Selbstreferenz des Systems

4.1 Die relationale System-Kennzeichnung

In stark vereinfachter Weise wird **S** verstanden als die Gemeinsamkeit von Elementen (Teilen, Gliedern) und dem **S** (dem Ganzen als solchen). Die Elemente sind durch Relationen - z.B. durch von ihnen ausgehend Kräfte - miteinander verbunden. Dies ist ein eher formal bestimmter Ausdruck für den Umstand, daß - nun tiefer und wesentlicher gesehen - das **S** die Einheit von Vollzug und Gehalt ist - was dem alten scholastischen Grundsatz „agere sequitur esse” nur teilweise entspricht, weil beide dieser Gegebenheiten zugleich - gleichursprünglich - gegeben sein müssen.

Steht es fest, daß **S** ohne Vorwegnahme seiner Analogie zum **S**-Entwerfer (Beschreiber usw.) nicht angemessen erfaßt wird, dann ist es unvermeidlich, daß eine grundlegende relationale Eigenschaft nicht ins Unbegrenzte ausschweift, sondern zu ihr selbst zurückkehrt, die *Selbstreferenz*. Alles an ihm - an **S**-Eigenschaften - bezieht sich auf ebendasselbe alles; aber es bezieht sich das **S** zugleich auf „sich selbst”, als dem Träger desselben, die **V**-Eigenschaft. Wegen der Komplementarität zwischen diesen kommt es zur seltsamen Gebrochenheit oder Widersprüchlichkeit im **S**: es ist uneindeutig und nimmt damit auch etwa auf, was im **S**-Entwerfer, dem menschlichen Subjekt, gleicherweise besteht.

Es sind nämlich drei verschiedene „Anteile”, die letzteres auszeichnen und die mit dem Umstand zusammenhängen, daß das Subjekt immer auch etwas Objektives „enthält”; was vergleichbar ist zum oben genannten Unterschied zwischen Auto- und Allologie. Aber im funktionellen Selbstbezug des Subjekts auf sich selbst - was gewöhnlich Selbstreflexion genannt wird - kommt es zum Auseinanderbrechen dieser Einheit (des Gegensätzlichen): da ein rein subjektives Subjekt (bzw. ein als solcher verstehbarer Anteil) sich einem rein objektiv verstehbaren (ihm entgegengetretenen) Anteil gegenüber sieht - was natürlich auch gleichdeutend ist mit einer gewissen „Spaltung” des Subjekts. Selbstreflexion ist daher keineswegs ohne tiefe Problematik. Über das objektivierete, d.h. gespaltene Subjekt läßt sich jedoch die Einheit nicht wieder erreichen: Sie muß immer unmittelbar erfahren werden, die Selbstreflexion kann nur sprunghaft zur Selbstgewißheit zurückgebracht werden; diese Rückkehr gelingt nicht auf dem Weg über eine relationale Subjektzerlegung.

In ähnlicher Weise ist die Selbst-Inkonsistenz auch darstellbar durch den uns schon vertrauten Zusammenhang von **V**- und **G**-Eigenschaften, die am **S** vorliegen, aber auch am Subjekt ihr Korrelat haben (s.o.). Ist das **S** wirklich Subjekt-Analogie, dann läßt sich diese Uneindeutigkeit an ihm nicht vermeiden.

4.2 Schwierigkeiten im formalen Bezug

Man darf aber nicht meinen, daß die Situation im formalen Bereich - also dem der **G**-Kennzeichnung von **S** - eine grundsätzlich andere wäre; denn auch hier besteht Widersprüchlichkeit, die in dem Augenblick zutage tritt, wo Formale Systeme so verstanden werden, daß sie sich auf „sich selbst” beziehen „sollen”: Es stellt sich heraus, daß formale Strukturen mit Selbstbezug - handle es sich um bloße Selbstreferenz, betreffe es darüber hinausgehende Selbstorganisation - d.h. Veränderung der Strukturen im Rahmen der von ihnen selbst ausgeführten „Tätigkeiten” - mit einer bestimmten Schwierigkeit behaftet sind, die mit dem Gödelschen Unvollständigkeits-Theorem in Verbindung steht: Es stellt sich heraus, daß entweder die Strukturen vollständig zu beschreiben sind, dann aber die Beschreibung einen Mangel an Konsistenz zeigt; oder aber, soll das Ideal der Konsistenz aufrechterhalten werden,

dann entbehrt die formale Beschreibung wiederum der Vollständigkeit, was einen prinzipiellen, nicht-reparierbaren Befund darstellt.

4.3 Drohende System-Paradoxie

Was zunächst nur als mit Widersprüchen und Gegensätzen behaftet erscheint, vertieft sich im „realen“ **S** zum Paradox - d.h. zu einer der Vernünftigkeit grundsätzlich widersprechenden Unfaßlichkeit. Wir haben ja zu bedenken, daß die (mit den genannten Unzukömmlichkeiten konfrontierte) formale Beschreibung dem Beobachter als Werkzeug dienen soll, mit dem er ans **S** herantritt, um dessen Eigenschaften, die seiner Meinung nach dem letzteren „an sich“ zukommen, erfassen zu können. Daß schon die **S**-Beschreibung vom Mitnehmen eines Paradoxes belastet ist, ja das **S** als solches vom Paradox (d.h. von innerer Widersprüchlichkeit) in seiner Existenz bedroht ist, stößt auf Verständlichkeit, sobald wir zur Kenntnis nehmen, daß sich die Wirklichkeit nicht auf Eindeutigkeit zusammenpressen läßt.

Doch gilt es hier etwas richtigzustellen. Das bei jedem Selbstbezug und damit auch bei jeder Selbsttätigkeit, wie z.B. auch bei Selbst-Reproduktion, auftretende Paradox findet sich nur solange, als man das **S** in seinem Augenblickszustand, quasi-unzeitlich, betrachtet; bezieht man aber Aktivität (und damit einen zeitlichen Prozeß) ein, dann wird das Paradox durch die **S**-Tätigkeit zum Verschwinden gebracht. Die Bedeutung der **S**-„Geschichte“ wird uns besonders in der transklassischen Version der **S**-Betrachtung klarwerden.

5. Das Problem von Beobachtung und Wahrnehmung

5.1 Äußerer Beobachter und die Objektivitäts-Frage

Das Problem der Beobachters, von dem einige „Typen“ unterschieden werden müssen, ist ein innigst bearbeitetes, trotz steter Fortführung, noch nicht definitiv erledigt und kann einen solchen Endzustand vielleicht auch gar nicht erreichen. Gewöhnlich werden zunächst am (und für das) **S** ein äußerer und innerer Beobachter unterschieden, doch ist diese Gliederung, wie gleich zu zeigen sein wird, eine zu wenig differenzierte. Es ist zu vermuten, daß durch Negation des **S**-Charakters des **B** nur eine Scheinlösung zustandekommt.

In weiterer Anlehnung an vorhergegangene Untersuchungen finden wir von der Art von Beobachter, den wir *äußeren* Beobachter (**B(e)**) nennen, immer nur **G**-Eigenschaften. Doch ist deren Objektivität aus mehreren Gründen problematisch, weil er selbst zunächst (a) auch in das Resultat - infolge des bekannten Umstands der Theorien-Abhängigkeit jeder Beobachtung - inkludiert ist, wenn dies auch für ihn unbewußt in Form seiner Intentionen u.s.w. vorliegen mag. Diese vor-theoretische Haltung, - so genannt, weil sie die vom **B(e)** angeblich erreichte Theorie des **S** eigentlich zu einer Theorie des Beobachters macht, führt aber dazu, daß nicht am (oder vom) **S** das erkannt wird, was es selbst ausweist, sondern nur *die* Seite an ihm, die der Zugangsweise von Seiten des **B(e)** entspricht; das **S** wird durch ihn eigentlich „vergewaltigt“, zurecht spricht man auf Grund dieses Befundes vom *Dilemma des Beobachters*; auch ist es nicht übertrieben zu sagen, daß er dem **S** gegenüber einen Fremdling darstellt.

Doch dies ist nur eine Seite. Eine weitere (b) ist ebenso wichtig: durch Ausschaltung des Nicht-Beobachtbaren (oder Nicht-Beobachteten) wird zwar gewissermaßen ein säuberliches Beobachtungsergebnis gewonnen, aber nicht bedacht, daß dieses doch unter dem Einfluß von Seiten des Ausgeschiedenen steht und keineswegs als wirklich „rein“, dem Vorliegenden ganz

und gar entsprechend, vorliegt. Was als Ergebnis der Beobachtung angesehen wird, läßt sich demnach als objektiver Befund bloß behaupten, ist es aber nicht; oder auch anders gesagt: *Objektivität* ist ein bloßes Postulat !

Dieser Schwierigkeit entgeht man kaum, wenn man die Beobachtung selbst als einen quasi-automatische Prozeß - geleitet von einem „Kalkül“ - hinstellt und die einzelne Schritte, aus denen sie sich aufbaut, jeweils als „Operator“ versteht. Ein beachtenswertes Unternehmen der Anwendung von Operatoren, nicht nur auf Beobachtung, sondern auf alle weiteren kognitiven Prozesse, ist dadurch bemerkenswert, daß es das Zusammenspiel derselben als nicht-kommutative Halbring-Algebra (ähnlich der Operator-Algebra in der QM) beschreibt. Aber das Bedenken, daß ein rationales Formal-S der nicht-rationalen Real-S der Wirklichkeit nicht genügen mag, stellt sich auch hier ein.

5.2 Innere Beobachtung, Selbst-Beobachtung und Wahrnehmung (Die Subjektivitäts-Frage)

Wenn der innere Beobachter (B(i)) mit den gleichen Absichten wie der äußere auftritt, ist auch ihm wieder nur ein Ausschnitt, niemals das Ganze der **G**-Eigenschaften zugänglich; doch muß echte „Endo“-Sicht schon viel mehr sein, nämlich eben keine kriterienabhängige, instrumentell objektivierte - und damit Zwang ausübende - Beobachtung (mit den die B(i) treffenden Beschränkungen), sondern Offenheit für das Andere der **V**-Eigenschaften. Hier gibt kein Zugreifen mehr ein brauchbares Resultat, sondern nur eine passive Einstimmung. Das ist auch schon von anderer Seite festgehalten worden .

Vielleicht ist aus diesem Grunde auch die weitere Untercheidung zwischen dem B(i) und dem Selbst-Beobachter (sB) von Wert; der dann keine begrenzte Sicht mehr hätte; aber auch lieber Selbst-Wahrnehmer genannt werden sollte. Allein die *Wahrnehmung* ist es auch, die das Eigene und das Fremde (oder Andere) - jetzt wohl vor allem als Allologisches, vielleicht sogar auch als Heterologisches verstanden -, ohne Grenzziehungen und zeitlich/räumliche Trennungen umfaßt und daher viel näher dem vollkommen **S**-Erfassen steht als jede andere Form, die immer noch vom Beobachten und dessen Intentionen bestimmt ist .

5.3 Der Mitspieler

Selbst der Part des Mitspielers (M) im **S**-Geschehen ist nicht ohne Probleme; wäre er nur das, was sein Name ausdrückt, könnte er nämlich vom **S** nichts erkennen, also muß er mit dem sB, ja vielleicht immer auch mit den anderen Positionen, die der Mensch dem **S** gegenüber einzunehmen imstande ist, „zusammenarbeiten“ und es soll sich danach herausstellen, daß er in dieser Lage auch das **V**-Gegebene für alle andere Arten von Zugangsmöglichkeiten zum **S** darstellt. Wir stehen dann vor der Reihe (oder Inklusion) von M, W, sB, B(i) und B(e), mit jeweils engerem und definierterem „Horizont“. Sie alle bilden wieder ein **S** - in Bestätigung des oben erkannten Grundsatzes - worin aber die Einheit von M, W und sB jeweils als **V** gegenüber dem Gegensatz von sB \Leftrightarrow B(i), B(e) als **G** gesehen werden könnte. Doch mag diese Form der Analogisierung mit der „Infrastruktur“ von **S** überhaupt dahingestellt bleiben, zumal ja im Bereich dieser **V**_i Grenzen definitiv überwunden erscheinen und vor einer Wahrnehmung, die in die Tiefe geht und von der „produktiven Einbildungskraft“ bestimmt ist, sich nichts hinter Barrieren verbergen kann.

6. Der System-Ursprung

6.1 Das Problem des Konstruktivismus - Ausblick auf Wissenschaftsverwandlung

Nachdem Erkennen ein Prozeß ist, der mit *Herstellen* (des Erkannten) aus dem zu Erkennenden verbunden ist - wenn wir es von ihm vorangehender intuitiver Erkenntnis trennen - lag es auf der Hand, dem Konstruieren als solchen eine wesentliche Bedeutung beizulegen. Tatsächlich erkennt man ja nur das voll, das man vorher gemacht hat (wie Kant in der „Kritik der Urteilskraft“ B 309 beweist). Entscheidend aber ist die von diesem Philosophen niedergelegte Einsicht, daß wir im Erkennen „gleich der Natur hervorbringen“, d.h. nicht willkürlich, sondern eben nur gemäß den dem konstruierenden Erkennen zugrundeliegenden V_i . Dieser Befund läßt sich systemtheoretisch gleichsam als „Theorem“ formulieren, das lautet: „Die Voraussetzungen des Konstruierens lassen sich nicht wieder konstruieren“. Wenn demnach dem Konstruieren Bedingungen und Grenzen auferlegt sind, so besteht seine Berechtigung nur mehr im Suspendieren seiner Radikalität.

Hiervon - dem „moderaten“ Konstruieren aus - ist dann, was vorderhand Hypothese bleibt, ein Übergang zur „*interphase*“-Theorie erreicht, der nun in einiger Ausführlichkeit hinsichtlich ihrer Intentionen zu erläutern ist. Dennoch muß immer das *Konstruieren* durch bestimmte Kriterien vom echten Ursprung - der aus dem „Transzendenten“ erfolgt und die Bezeichnung *Kreieren* trägt - unterschieden werden, wenngleich wir wieder zutiefst dessen gewärtig sind, daß letzteres von V -Natur gegenüber dem ersteren ist.

Die genannte Theorie geht von der Vorstellung aus, daß die „Schnitte“, die der $B(e)$ in das ihm Vorgebene legt - vor allem der sog. cartesische Schnitt, die Trennung des Objekts als „res extensa“ von ihm selbst als „res cogitans“ - nicht einfach durch Rekurs auf das Absolute (mit seiner Einheit aller Unterschiede) überwunden werden kann, sondern vielmehr streng methodisch im Rahmen der dadurch auch bereits wieder vertieften und erweiterten Wissenschaft, wenn sie eine Lockerung der Rationalität erfährt. Dabei muß zugleich auch der „Schnitt“ im S als durch Komplementarität überwindbarer erfahren werden.

Einen weiteren Wege zur Entschärfung der Problematik liefert die Einsicht, daß der Wissenschaftler, z.B. der $B(e)$, wenn er sich selbst zuwendet, damit $B(i)$ oder mehr wird, hinnehmen muß, selbst eine „*interphase*“- Existenz zu führen. Das Wissen, nicht Herr der Wirklichkeit zu sein, sondern Fremdling und Verbannter in ihr, beschert ihm zunächst eine Zwangslage, aus der er sich nur zu befreien vermag, sobald er sie erkennt. Der Lösungsvorgang läßt sich methodisch in Form eines auf kleine Dimensionen beschränkten „Mikrokonstruktivismus“ vorführen. Hier schon wird der, sonst zu aggressiven Zugriffen neigende Beobachter zum *partipatorischen* Wahrnehmer und Mitspieler (M).

Dieser kann sich natürlich keine schädlichen Eingriffe leisten und wird sich in seinem Verhalten dem S gegenüber vielleicht einer alten Devise gemäß verhalten, wie sie in der *Homöopathie* - und dies als späte Aktualisierung mythischer Weisheit - angewandt wird, wonach „das, was schädigt, auch heilt“. Es ist lange bekannt, daß Einflüsse auf das S , die dem schädlichen „Reiz“ ähnlich sind, in entsprechend niedriger Dosierung, wenn sie diesem nachfolgend appliziert werden, sogar heilend wirken - wobei der wichtigste Umstand darin zu finden ist, daß es das S ist, das durch seine Mitwirkung den zweiten „Stimulus“ zu einem dem ersten *ähnlichen* macht.

In Übertragung dieses Prinzips auf die Wissenschaft kann auf deren Umformung von einer aggressiven in eine sanfte gehofft werden, wenn den bisher starken und lebensfeindlichen

Eingriffen der Wissenschaft feine und leichte, mit der Wirklichkeit weitgehend im Einklang stehende „nachgesetzt“ werden, die, ohne zu verletzen, dennoch Erkenntnisse liefern.

6.2 „An-sich“-Gestalt des System-Ursprungs

Wenn wir - was durchaus seine begrenzte Berechtigung hat - den **S**-Ursprung gleich dem eines **M** verstehen, indem wir einen mehr oder minder beliebigen Schnitt in die vorgegebene Wirklichkeit tun, um aus ihr etwas auszusondern und zu nützen, das wir (notabene es uns analog ist) als **S** bezeichnen, so haben wir durchaus eine gültige Version des komplexen Themas getroffen; aber nur eine und nicht die wesentliche. Letztere hat stets die beiden Seiten des **S** in Rechnung zu stellen, die wir als **V**- und **G**-Gegebenheiten verstehen müssen und diese sind bei der **M**-Bildung doch nur auf den **G**-Aspekt eingeeengt. Das Ganze des **S** kann nämlich, einer echten Ursprungsüberlegung zufolge, auch nur aus einem Ganzen entspringen und das ist bei der **M**-Konstruktion nie gegeben, bei der absichtlich immer etwas ausgeschlossen und das, was das **M** ausmacht, erst stückweise zusammengebaut wird. Demgegenüber ist echter Ursprung immer ein Augenblicksereignis.

All dieses spricht für eine Argumentation, die dem bekannten Hermeneutik-Zugang die fast unbekanntes Eigentümliches des Hermetik-Zugangs entgegenstellt. Erstere ist, wiewohl nicht ganz einfach nachvollziehbar, durch den *Kreis* dargestellt (und damit weitgehend mit dem **S**-Schema identisch), letztere durch den vertikalen (den Kreis berührenden) *Pfeil*, der andeutet, daß das „Agens, das das **S** in Existenz setzt, von anderswo her, nicht aus dem **S** und auch nicht aus dessen Umwelt stammt, aber dem Ursprungsproblem der Mathematik vergleichbar ist, das uns zeigt, wie für Berechnung (vergleichbar der **S**-Aktivität) ein Programm (als Instruktion) gebraucht wird, bzw. abzählbare Mengen nur aus überabzählbaren (transfiniten) - letztere von **V**-Charakter im Vergleich zu den ersteren als **G**-Eigenschaften, verständlich sein können. Der Bereich, der das ermöglicht, ist demnach ein „transzendent“, niemals den Methoden zugänglich, denen sich ein „immanenter“ ergibt. Wegen dieser Herkunft ist jedes **S** selbst (ebenso wie seine V_i , nämlich Gestalt und Ganzheit) als „transzendent-immanent“ anzusprechen, ähnlich dem also, was Schelling mit Subjekt-Objekt meinte, wenn er vom Organismus sprach. Aber das gestaltlich Anschauliche macht die Sache auch plausibler: Ursprung (des höheren organismischen Lebens) in der Geburt fordert die vorangehende Zeugung und diese - zumindest in der Glaubenssicht - die un- und überzeitliche Erschaffung.

Eine Selbstentstehung eines **S** - wenn oder weil sie nur **G**-„Entitäten“ kennt - ist nicht möglich, was besonders gegenüber der sog. Autopoiesis-Theorie betont werden muß, deren naive Aussage lautet, daß sich ein **S**, vorgestellt als Organismus, aus dem seine Einheit bildenden Zusammenspiel seiner Prozesse und Produkte „von selbst“ bilde. Ganz ähnlich wird ja auch von der „Entstehung des Lebens“ gedacht (bzw. *un*-gedacht). Diese Vorstellungen negieren die Notwendigkeit der V_i , die wesentlich anderes als Bedingungen im G_i - Bereich (die alle insgesamt empirischer Natur sind) darstellen.

Trotz der Unerreichbarkeit des Ursprungs muß aber wieder Rückbezüglichkeit des einen (hermeneutischen) auf's andere (hermetische) Gebiet unterstrichen werden, womit wir expliziten Anschluß an die Subjekt-Analogie und ihre Ursprungs-Unhintergebarkeit erreichen. Keine Zugangsweise kann des Ursprungs habhaft werden, dessen Begegnung nur der Mensch im mystischen Erlebnis gewürdigt wird. Weil jeder Versuch, „hinter“ ihn zu gelangen, scheitern muß, liegt hier ausgesprochen der Ort der unbedingten **S**-Anerkennung vor, unendlich über jeden eitlen Versuch einer Erklärung erhaben.

7. Kritik der System-Auffassung

7.1 Frühe Einwände

Es ist interessant, daß sich schon frühe Einwände an der **S**-Vorstellung entzündeten, u.zw. nicht an den (rudimentären) Entwürfen Lamberts, sondern am Auftreten des **S**-Begriffs (und seiner Anwendung) in der Philosophie. Dabei ist eine Linie vor allem an Denkern erkennbar, denen der systematische Aufbau - und damit das Ideal der Vollständigkeit - an philosophischen Entwürfen verdächtig war, z.T. aber aus theologischen Überlegungen heraus. Einer der ersten war der protestantisch/pietistische Theologe Friedrich Christoph Oetinger (1702 - 1782), der zwar bereits eine Definition des **S** gab - dergestalt „sich alles durch ein jedes und jedes durch alles sich begreift“ - zugleich aber fand, daß es „in der Welt“ kein perfektes **S** gibt, weil diese durch den Sündenfall in Unordnung geraten sei. Für seinen Zeitgenossen J. G. Hamann (1730 - 1788) ist „System an sich ein Hindernis der Wahrheit“ - indem es einen Idealzustand vortäuscht, den es hierorts nicht gibt. Einer der Begründer der Romantik, Fr.v Schlegel (1772 - 1826) erkannte bereits, daß es „gleich tödlich für den Geist (ist), ein System zu haben wie keines zu haben“, was in seiner Sicht bedeutet, daß der **S**-Begriff kein fundierender Begriff sein kann, sondern vielmehr in Schweben gehalten werden muß. Das wahre Genie der Romantik, repräsentiert in Novalis (1772 - 1801), sah in seiner Wissenschaftslehre, die er „Enzyklopädistik“ nannte, daß ein **S** von paradoxer Natur ist, indem es nur „Systemlosigkeit, in ein System gebracht“ sein könnte. Und für den dänischen Denker S. A. Kierkegaard (1833 - 1855) ist „das Dasein ein System für Gott, aber nicht für einen existierenden [menschlichen] Geist“.

Indem aber - wieder nach Fr. v. Schlegel - zuzugeben ist, daß menschliches Mühen nur zu einem „System von Fragmenten“ führt, wird dem vorgearbeitet, was die Transklassische Systemtheorie (TKST) - eingeständenermaßen erst recht spät - wieder entdeckt: daß nichts Eindeutiges, sondern nur Widersprüchliches, Gegensätzliches, zu einem **S** vereint sein kann - sofern es sich um ein „Realsystem“ handelt; doch diese Einschränkung gibt keine Lizenz sogar für ein perfektes „Idealsystem“, insofern als auch ein Konzipieren desselben nur als Wunschdenken gelingt und sich an Vorgegebenheiten des Ideal/Mathematischen stoßen muß .

7.2 Unangemessenheit der Wirklichkeit gegenüber

Als Sukkus aus bisherigen Überlegungen muß die Tatsache in Erinnerung gebracht werden, die zugleich eine Notwendigkeit für das Bestehen des **S** ist, daß die vorgetragene Auffassung von ihm nur berechtigt ist, wenn - wenigstens implizit - auch Gestalt und Ganzheit mitbedacht werden, also eine gedankliche Erweiterung vorgenommen wird, die bereits den Übergang zur TKST andeutet. Denn die genannten „Größen“ sind in gewissem Sinne von **V**-Charakter gegenüber dem **S**, das dann und nur dann, **G**-Charakter annimmt. Denn in gewöhnlicher Weise wird die AST als eine „exakte“, daher auf Mathematik hin tendierende Wissenschaft gesehen, daher baut sie mehr oder minder ganz auf den Verstand. Aber ähnlich zum Umstand, daß erst die Vernunft die Begrenzungen des Verstandes einsieht und nach Begründung ihrerseits sucht, ist die Begrenzung des rein rationalen - in unserer Terminologie allein auf **G**-Eigenschaften ausgerichteten - **S**-Zugangs durch Einbeziehung der Voraussetzungen (also der **V**-Eigenschaften) zu ergänzen; damit hält sich die **S**-Auffassung schon nahe an die *Ganzheits*-Vorstellung, wenn für diese entscheidend ist, ein intuitives Vorgehen mit einem diskursiven synthetisch zu verbinden. In Entsprechung zur Kognitiv-Domäne sind diese beiden Versionen einer umfassenden Sicht auf verschiedenen Ebenen anzuordnen und schließen auch einander ein. Kommt aber das Anschauliche als weiteres Moment hinzu, - was bedeutet, daß eine weitere, für Synthese notwendige Ebene einzu-

nehmen ist -, erreicht man auch die *Gestalt* als zusätzliche Voraussetzung für **S**, aus welchem Grund wir dann zu einer Verallgemeinerung unserer Kognitiv-Domäne gelangen; unnötig zu sagen, daß dem alles beherrschenden Prinzip der Analogie zufolge wir damit wieder ein **S** vor uns haben; dem Hegelschen Gedanken von „Kreisen in Kreisen“ können wir daher den von „Systemen in Systemen“ zur Seite stellen.

8. Die Transklassische Sicht

8.1 Andersheit der System-Gesetzlichkeit

Wird durch die genannten Einwände die klassische AST weitgehend in Schranken gewiesen und in ihrem Geltungsbereich eingeengt, so läßt sich doch durch Vertiefung der Problematik und Erweiterung der Methodik eine *Transklassische System-Theorie* (TKST) konzipieren, die diesen Schwierigkeiten begegnet.

Hier tritt nicht sosehr oder ausschließlich das über- bzw. unzeitliche Befinden des **S** in den Vordergrund, sondern auch seine „*Geschichte*“, d.h. seine, aus dem im **S** angelegten Vorbedingungen heraus entstehende spontane oder reaktive Veränderung, Entfaltung, „*Evolution*“ in der Zeit. Hier tritt fernerhin das konkret *Individuelle* des Elements, des Gliedes oder Sub-Systems, ja des **S**'s selbst, in Erscheinung (oder von sich aus in Tätigkeit) und es wird nicht mehr im abstrakten Zusammenhang (eines übergeordneten **S**-Gesetzes) zum Verschwinden gebracht. Und die **S**-, „*Geschichte*“ manifestiert sich mittels der die sonst starre Gesetzlichkeit durchbrechenden Vorgänge, die wir besser *Ereignisse* nennen; das plötzliche, unerwartete Hervortreten von Neuem, das in der bisherigen **S**-Gesetzlichkeit das offensichtlich nicht Erkennbare war, deswegen auch unvorhersagbar, aber doch in den Möglichkeiten des **S** stets schon vorhanden. Ein altes Problem ist damit angesprochen: das Neue als wirklich *de-novo* oder als Aktualisierung des schon als möglich Angelegten.

Wenn trotzdem diese „*Neuheiten*“ (weil zum **S** gehörig) wieder in Systemhaftigkeit eingebunden sein sollen, so muß diese selbst auch von anderer Art sein als sie in der klassischen **S**-Auffassung vertreten wurde: das Gesetz muß locker, *schwach*, nicht diktatorisch streng, sondern optional sein, d.h. das Auftreten des sich der bisherigen Struktur und Funktionalität entwindenden Ereignisse durchaus ohne Zwang möglich machen können - vergleichbar der „*schwachen*“ Vernunft, die nicht alles mit harten, unschlagbaren Argumenten niederbügelt und für manche Probleme ihre Inkompetenz eingesteht. Ein inklusives (einschließendes) steht einem exklusiven (ausschließenden) **S**-Verhalten gegenüber. Ganz ähnlich dazu ist auch die „*kleine*“ Lösung anzusehen, die darin ihre Berechtigung findet, daß sie **S**-Probleme nicht in toto ideologisch, sondern pragmatisch anzupacken sucht, u.zw. hinsichtlich des Kriteriums einer wenigstens teilweisen Lösbarkeit, mit der sie sich zunächst abfindet und von der sie zum Versuch umfassenderer Lösung fortschreitet.

8.2 Paradoxbewältigung

Wie nun die Bewältigung von im **S** auftretenden Paradoxen durch das **S** selbst geschehen kann, das soll jüngst entwickelten Vorstellungen gemäß dargelegt werden. Dabei wird angenommen, daß das Paradox gleichsam vom **S** verschlungen wird. Hier handelt es sich um eine Verallgemeinerung und Weiterführung der Annahmen, die G. Günther für eine sog. „*polykontexturale Logik*“ bereithält, die sich ganz ähnlich dazu verhält, indem sie eine im **S** auftretende Ambivalenz über das ganze **S** „*distribuiert*“ und damit unschädlich macht. Allerdings hat, gegenüber dieser Form der Logik, die eigene Behandlungsart des Paradoxes, das im (und vom) **S** zum Verschwinden gebracht, unwirksam gemacht oder sogar positiv-

inzentiv vom **S** genützt wird, Vorrang; sie faßt das **S** als „lebendig“ und sonach nicht als maschinell auf.

Die dazu nötigen Zusatzannahmen beziehen sich auf Spezifizierung des Paradoxes selbst; es muß nämlich vorausgesetzt werden, daß es aus Unterscheidungen hervorgeht, die der B(e) zieht. Zugleich aber sucht dieser das Paradox dadurch auszuschalten, daß er seinen **S**-Zugang auf alleiniger Geltung von Rationalität aufbaut. In manchen Fällen - wie z.B. beim Lügner-Paradox - gelingt es auch,² weil es im Lichte seines eigenen Umfelds meistens auf einer lokal beengten und exzessiv künstlichen Situation beruht, obendrein rein *formal* darzustellen ist; das *materiale* Paradox dagegen, das einem anschaulichen Lebenszusammenhang entspringt, - vgl. das Paradox vom im Paradies gemeinsam mit dem Löwen grasenden Lamm (Jes.11,6) - außerdem einen globalen Gesichtspunkt darlegt, kann einer einfachen Lösung widerstehen (s. allerdings unten, wo wir, als Ergebnis der TKST, zeigen möchten, daß durch die Idee der Allverwandlung - besser durch die diese schauende „produktive Einbildungskraft“ - auch dieses Paradox einer Lösung zugeführt werden kann).

Die Möglichkeit des transklassischen **S**, mit einem in ihm auftretenden Paradox fertig-zuwerden, kann nun darin gesehen werden, daß mindestens eine aus der Zahl möglicher **S**-Domänen von ihm frei sein muß, um als *Referenzbasis* dafür auftreten zu können, daß das Paradox registriert wird. Diese Überlegung beruht freilich auf der Annahme, daß vom Paradox nur dann gesprochen werden kann, wenn sich etwas Nicht-Paradoxes, sinnhaft Vernünftiges, mit ihm vergleichen läßt. Dies würde zeigen, daß ein transklassischen **S** - also der Gegenstand der TKST - wie letztere auch, immer etwas Klassisches mitenthält. Die übrigbleibenden **S**-Anteile würden sich dagegen unbestimmt verhalten können; aber wegen der nie endenden **S**-Dynamik würde keine der beiden Regionen (zumindest vom B(e) aus) im **S** exakt lokalisierbar sein.

8.3 Systembefindlichkeit, Systemleben und Überschreitung

Obwohl diese Vorstellung bisher Bekanntes übersteigt, ist sie doch kein bloß vereinzelter Befund, sondern legt diese Sichtänderung in gleicher Weise für die **S**-Dynamik selbst dar, die wir daher eher mit „Leben“ als mit formal beschreibbarem „Mechanismus“ vergleichen müssen. Darüber sind bereits Überlegungen angestellt worden, die wir vorstellen wollen.

Grundsätzlich nichts Neues erbringend, hat die Weiterführung der AST zu einer TKST doch eine Sicht der Wirklichkeit gewonnen, die der Wissenschaft ganz unbekannt ist, desgleichen in der Philosophie nicht geliebt wird und eher mit Dichtung und mystischem Weltzugang zu tun hat. Ja, gegenüber der anfänglich gekennzeichneten Aufgabe der AST als einer Brücke zwischen Einzelwissenschaften und *Philosophie* läßt sich jetzt sagen, daß sie auch *Poesie* und *Prophetie* (Kunst und Religion) miteinschließt, zumindest berührt (weshalb scherzeshalber von den drei *P*-s gesprochen werden kann). Sie macht dazu bestimmte *Annahmen*, die vordergründig als unsinnige und erst bei näherem Bedenken als plausible und uns längst vertraute erscheinen:

(a) Im (und für das) **S** ist keine Gegebenheit nur das, was sie (als eigene *e*) ist; sie ist mit einem anderen *a* (faktisch und symbolisch) gleich, sodaß diese zwei sich wechselseitig zu einem (Teil)-Ganzen ergänzen (vgl. die „Ich“-„Selbst“-Einheit). Zugleich sie *selbst* und das *andere* (ihrer selbst) zu sein, ist ein permanentes Ereignis; wiewohl es aber immer auch das ist und bleibt, was es ist, sodaß es sich (in und trotz der Änderung) paradoxal nicht ändert.

(b) Es besteht dabei keine Trennung der Anteile - wiewohl sie domänen-ähnlich sind -, sondern alles ist (und bewegt sich) *ineinander*, kann also in exakter - formaler - Weise gar nicht dargestellt, sondern nur „erlebt“ werden.

(c) So ist (und repräsentiert) ferner *jeder S-Bereich alles* oder die Gemeinsamkeit aller, ist aber sogar (der Möglichkeit nach und zugleich faktisch) noch mehr als diese, da die Tendenz zur Überschreitung ihm inhäriert.

(d) Alles vollzieht sich gleichzeitig und in der Zeit; eine Eigenschaft, die die innere Dynamik des **S** offenbart, die vorwiegend spontan, aber auch (partiell) reaktiv abläuft, jedoch mit der üblichen mathematischen Kennzeichnung (etwa im Sinne von DGLn) nicht adäquat erfaßt wird.

Das ständige *Anderswerden* steht komplementär zum geforderten (oder gnadenhaft geschenkten) *Überschreiten* (als radial bzw. vertikal zu verdeutlichender Bewegung), obwohl beide Bewegungen innigst zusammengehören und im Gesamtgeschehen auch wieder ein-und-dasselbe sind, d.h. nie voneinander isoliert vorkommen können. Diese Begebenheiten bringen Gegensätze, trotz ihres Bestehenbleibens, zum Verschwinden.³

Dazu sind aber weitere Hinweise auf die Unterscheidung und das Zusammengehören zwischen (bzw. von) **S**- und „Selbst“-Überschreitung festzuhalten. Erstere kann mit dem empirischen **S** zu tun haben, das dabei anders wird und sich dann vom ursprünglichen **S** unterscheidet; Veränderung, Entwicklung, sind die dafür angemessenen Termini. Letzere nimmt aber das Geschehen ins Visier, das bei Änderung des **S** in seiner Erscheinungsweise in Form der **G**-Eigenschaften die Unverändertheit seines „Wesens“ in Form der **V**-Eigenschaften behauptet, die *Außenwendung* durch die *Innenwendung*, d.h. die Extension oder Ausschweifung durch Intension oder Innenverdichtung „kompensiert“ sieht.

Da wäre weiterhin zu betonen, daß die steten Übergänge (wie von $e \Leftrightarrow a$ und zurück) im **S** - als Analogie zur Ich-Selbst-Transition - auf allen Ebenen und in allen Bereichen desselben stattfinden, ebenso wie die Gefährdung des sich zurückziehenden Seins, des Übergangs ins Nichts - zu erwähnen ist, was wieder als die stete Drohung des **S**-Zusammenbruchs interpretiert werden muß.⁴ Das **S** „lebt“ auf des Messers Schneide und ist keineswegs so stabil, wie es in der klassischen Ausfassung noch erscheinen mag.

Die TKST versucht also, das **S** (in Verbindung mit Gestalt und Ganzheit) so zu sehen, wie es ist und nicht so, wie es sich unter dem Druck rein rationaler Kriterien - zwanghaft und unfrei - darstellen müßte. Außerdem versucht sie, die „Lebenswelt“ gewissermaßen zu „verifizieren“, ihr gerecht zu werden und nicht eine unangemessene künstliche Sicht ihr überzustülpen.

9. Ausblick

Soll die AST demnach mehr sein als eine bloße, zusätzliche Betrachtungsweise, die neue bisher wenig beachtete Gesichtspunkte hereinbringt? Kann sie ein Instrument in der Hand des Menschen sein, mit dem er weiter dringt und sieht als bisher? Diese Fragen drängen sich uns zum Schluß auf; sie sind z.T. schon beantwortet, verschoben aber deswegen nicht die Problematik von der Kontroverse mit ähnlichen Vorstößen, die Ähnliches meinen, aber aus ganz bestimmten Gründen abzulehnen sind. Das Kriterium ist Anerkennung oder Verwerfung des (klassischen) Denkens, auch wenn der ausschlaggebende Gesichtspunkt auf die transklassische Dimension hin vertieft werden mußte. „Postmoderne“, hemmungsloser, bodenloser „Pluralismus“ mit Gleichwertigkeit, ja Beliebigkeit aller möglichen Positionen

und damit ein nicht mehr unterbietbaren Relativismus, alles das ist abzulehnen und wird gerade durch Transgredieren jeweils eingenommener Standpunkte und durch unentwegtes Ringen um eine - nicht leicht und ohne Mühe - zu erhaltende Basis, metaphorisch ebenso Grund wie unerreichbare Höhe zu nennen, vermieden. Trotzdem muß es stets mit entschlossenem Aushalten des Paradoxes verbunden bleiben.

Das sollte (oder könnte) systemtheoretische Futurologie sein, wenn es möglich wäre, diese Form (oder Unterdisziplin) der TKST auf die die Menschheit tangierende Probleme wirklich, d.h. brauchbar anzuwenden und mit ihrer Hilfe zu Lösungen zu kommen. Was muß aber hierzu gehören ? Auf keinen Fall kann es ohne Diskussion der *Werte* und *Normen* abgehen, die eine teleogenetischen System-Theorie - als integrierender Teil der TKST (insoferne als sie sich das Zweckproblem und das Setzen von Zielen zum Thema macht) - behandelt. Wie man aber zu einer überzeugenden Demonstration kommen kann, die die Plausibilität der TKST belegt, steht heute immer noch aus. Denn es ist leichter, theoretisch die Fragen nach Ursprung, nach paradoxer **S**-Struktur, Entsprechung von Außen und Innen, nach dem Tiefen- und Oberflächen-**M** der Wirklichkeit zu beantworten, als zu zeigen, wie diese Erkenntnisse ihre „Feuerprobe“ in der Anwendung erweisen könnten. Das soll aber nicht zum resignativen Schluß führen, daß die TKST nicht mehr als ein Gedankenspiel sei, denn als „Infra“-Theorie könnte sie doch Einflüsse auf Entscheidungen ausüben, die im Rahmen von **G**-Theorien erforderlich sind, aber ohne ihren Hintergrund nicht durchgeführt werden können. Es wäre auch zu untersuchen, ob Interventions-, Komplexitätsbewältigungs- und ähnliche Theorien - die auf der echten TKST basieren - und nicht auf der Luhmannschen Pervers-ST (die pervers deswegen zu nennen ist, weil sie das Metaphysische sogar vernichten will) - zu einer brauchbaren Zukunfts-Meisterung führen könnte.

Hier ist vielleicht als *Abschluß* die Darstellung einer Hinwendung zum „PM“-Gedanken zu versuchen und als höchstes Ziel der Untersuchung die Poetische Metamorphose herauszuarbeiten - ihr Eintreten ist zwar nicht vom Menschen herzustellen - denn das wäre Hybris ! - aber an dieser Stelle sollte es erst recht klargemacht werden, daß die TKST ein Zeugnis für die schließlich unentbehrliche religiöse Dimension ist.

Abkürzungen

AST: Allgemeine System-Theorie, **B(e)**: äußerer Beobachter, **B(i)**: innerer Beobachter, ET: Evolutions-Theorie, **G**: Gegenstand, **M**: Mitspieler, **M**: Modell, PM: Poetische Metamorphose; QM: Quantenmechanik, RT: Relativitäts-Theorie, **S**: System, TKST: Transklassische System-Theorie, **V**: Voraussetzung.

Anmerkungen

1. „Meßbar zu machen, was meßbar ist“, was schon bedeutet, daß das Nicht-Meßbare für nicht-wissenschaftlich anzusehen ist und daher vernachlässigt werden kann.
2. Nach einer Bemerkung von Prof. Weingartner (Salzburg) gelang dies bereits Paulus Venetus im 15. Jahrhundert.
3. Beim friedlichen Grasens könnte ein Löwe nicht existieren, vielmehr ist anzunehmen, daß beide, Löwe und Lamm, durch Ineinanderverwandeln auch einander wechselseitig verzehren, da die Übergänge alle Grenzen niederreißen.
4. In der Theorie des Fließgleichgewichts und ihrer Fortsetzung als Theorie Dissipativer Systeme ist allerdings ein **S**-Zusammenbruch (zumindest als Rückkehr vom irreversiblen zum reversiblen Gleichgewicht) vorgeahnt worden.

Literatur

- . Anosov D.V., Arnold V. I. (Eds) (1988): *Dynamical Systems*, 2 Vls, Springer: Berlin-Heidelberg-NewYork.
- . Bachmann M. (1998): *Die Antinomie logischer Grundsätze. Ein Beitrag zum Verhältnis von Axiomatik und Dialektik*, Bouvier-Verlag: Bonn.
- . Bartlett St.J., Suber P. (Eds) (1987): *Self-Reference. Reflections on Reflexivity*, M. Nijhoff: Dordrecht-Boston-Lancaster.
- . v. Bertalanffy L. (1932/1941): *Theoretische Biologie*, 2 Bde, Bornträger: Berlin,
- . v. Bertalanffy L. (1953): *Biophysik des Fließgleichgewichts*, Vieweg: Braunschweig.
- . v. Bertalanffy L. (1968): *General System Theory. Foundations, Development, Application*, G.Braziller: NewYork.
- . Detering K., Schwab G. H. (1978): *System, Natur und Sprache*, *Scheidewege* 8 (1) p. 104 -132.
- . Diebner H. H., Druckrey Th., Weibel P. (Hrsg) (2001): *Sciences of the Interphase*, Genista Vlg.: Tübingen.
- . v. Ehrenfels Chr. (1890): *Über Gestaltqualitäten*, *Vjschr.wiss.Phil.* 14, p. 249-292.
- . Fliege N. (1991): *Systemtheorie*, G. Teubner: Stuttgart.
- . Gernert D. (2000): *Towards a closed description of observation processes*, *BioSystems* 54, p. 165-180.
- . Gloy Karen (1998): *Systemtheorie - Das neue Paradigma ?*, in: G. K., Neuser W., Reisinger P. (Hrsg): *Systemtheorie. Philosophische Betrachtungen ihrer Anwendungen*, Bouvier Vlg: Bonn., p. 227-242.
- . v.Goldammer E. (1999/002): *Eine Poly-kontexturale Systemtheorie und deren Konsequenzen*. Vortrag, Tagung „Kybernetische Visionen - (Re)Vision der Kybernetik“, Inst.f.Kybernetik e.V.Berlin, 26.-28. November (im Erscheinen).
- . Günther G. (1973): *Life as Polycontextuality*, in: Fahrenbach H. (Hrsg): *Wirklichkeit und Reflexion*, Fs für W.Schulz, Neske: Pfullingen, p.187-210.
- . Hauptmann C. (1893): *Die Metaphysik in der modernen Pysiologie. Eine kritische Untersuchung*, G. Fischer: Jena.
- . Heinrich W. (1950): *Die Verfahrenslehre als Wegweiser für die Wissenschaften und die Kultur*, in: H. W. (Hrsg): *Die Ganzheit in Philosophie und Wissenschaft*. Othmar Spann zum 70.Geburtstag, W. Braumüller: Wien, p. 3-46.
- . Hempelmann H. (2000): *Wie wir denken können. Lernen von der Offenbarung des dreieinigen Gottes für Wissenschaftstheorie, Sprachphilosophie und Hermeneutik*, R. Brockhaus: Wuppertal.
- . Henrich D. (1992): *Der Grund im Bewußtsein. Untersuchungen zu Hölderlins Denken (1794-1795)*, Klett-Cotta: Stuttgart.
- . Jacobi R.-M.E. (1996): *Ereignis und Geschichte. Zur Ortlosigkeit des Individuums im Umbruch der Zeiten*, in: Kleinhempel Fr., Möbius Anette, Schoschinka H.-U., Waßermann M. (Hrsg): *Die Biopsychosoziale Einheit Mensch - Begegnungen*, Fs für Karl-Friedrich Wessel, Kleine: Bielefeld, p. 280-290.
- . Klir G.J. (1991): *Facets of Systems Science*, Plenum Pr.: NewYork-London.
- . Krieger D. J. (1998): *Einführung in die allgemeine Systemtheorie*, W.Fink (UTB): München.
- . Kriz J.(1997): *Systemtheorie. Eine Einführung für Psychotherapeuten, Psychologen und Mediziner*, Facultas: Wien
- . Kulenkampff A. (1980): *Hermeneutik*, in: Speck J. (Hrsg): *Handbuch wissenschaftstheoretischer Begriffe*, Bd 2, UTB Vandenhoeck & Ruprecht: Göttingen, p. 271-281.
- . Liedtke R. (1996): *Die Hermetik. Traditionelle Philosophie der Differenz*, Schönigh: Paderborn-München.
- . Locker A. (1966): *Elemente einer systemtheoretischen Betrachtung des Stoffwechsels*, *Helgol.wiss. Meeresunter.* 14, p. 4-24.
- . Locker A. (1979): *On the Origin of Systems and the Role of Freedom therein*, in: Ericson R. F. (Ed): *Improving the Human Condition. Quality and Stability in Social Systems*, Proc. 25th Anniversary SGSR-Meeting, Springer: NewYork, p. 537-571.
- . Locker A. (1980): *Elements of the Cybernetic Theory of Purposiveness*, *Kybernetes* 9, p. 97-108.
- . Locker A. (1981): *Metatheoretical Presuppositions for Autopoiesis*, in: Zeleny M. (Ed): *Autopoiesis. A Theory of Living Organization*, North Holland: NewYork-Oxford, p. 211-133.
- . Locker A. (1982): *Selbstentstehung von Leben und Vernunft - ein Trugschluß. Die Unhaltbarkeit von Genesemodellen*, in: Nagl-Docekal Herta (Hrsg): *Überlieferung und Aufgabe*, Fs für Erich Heintel zum 70. Geburtstag, W. Braumüller: Wien, 2.Teilband, p. 33-69.
- . Locker A. (1991): *Kybernetik und Systemtheorie als metatheoretische Brücken zwischen Einzelwissenschaften und Philosophie* in: v. Goldammer E., Spranger H., Fuchs S. (Hrsg): *Kybernetik und Systemtheorie. Wissenschaftsgebiete der Zukunft ?*, Wessels: Greven, p. 23-43.
- . Locker A. (1992a): *Systemtheoretische Aspekte von Selborganisation und Autologie. Vorstoß zu einer Theorie*, in: Niegel W., Molzberger P. (Hrsg): *Aspekte der Selbstorganisation (Informatik Fachberichte 304)*, Springer: Berlin-Heidelberg-NewYork, p. 153-169.

- . Locker A. (1992b): Complementarity - Polarity - Dialectic - Autology. A Conceptual Analysis of Opposition and Unity, in: Carvallo M.E. (Ed): Nature, Cognition and System II: On Complementarity and Beyond, Kluwer: Dordrecht-Boston-London p. 3-23.
- . Locker A. (1993a): Post-Moderne (PM) als post-mortem Befund oder Poetische Metamorphose" („PM") der Philosophie ?, in: Klein H. D., Reikersdorfer J.: Philosophia Perennis. Erich Heintel zum 80.Geburtstag, P.Lang: Frankfurt/NewYork, Teil 2, p. 87-125.
- . Locker A. (1993b): Dialogue and Conversation. Machine Aspects and Aspects going beyond the Machine. An Essay in Honour of Gordon Pask, Systems Res. 10 (3) p. 79-97.
- . Locker A. (1994): Subjekt- und Beobachter-Problematik mit Blick auf die „Polykontexturale Logik", in: Kotzmann E. (Hrsg): Gotthard Günther - Technik, Logik, Technologie, Profil: München, p. 167-203.
- . Locker A. (1995): Metatheoretische Kritik des Radikalen Konstruktivismus und der Autopoiese-Theorie, in: Fischer H.R. (Hrsg): Die Wirklichkeit des Konstruktivismus. Zur Auseinandersetzung um ein neues Paradigma, Auer Systeme: Heidelberg, p.329-347.
- . Locker A. (1996): „Synologie" und „Chaologie" oder die widersprüchliche Einheit von Ganzheit, Gestalt und System. Vom Beobachten zum Schauen und wieder retour, in: Tichy G. E., Matis H., Scheuch F. (Hrsg): Wege zur Ganzheit. Fs für J. Hanns Pichler zum 60.Geburtstag, Duncker & Humblot: Berlin, p. 71-101.
- . Locker A. (1998a) Seins- und Wirkweise der mathematischem Gegenstände. Vorstoß zu einer transklassischen Theorie der Mathematik, EuS 9 (3,) p. 459-462.
- . Locker A. (1998b): Schöpfungs- und Evolutions-Problematik in system-theoretisch klassischer und transklassischer Sicht. Der Mensch im Widerspruch der Außen- und Innenbeobachtung sowie der Mitgestaltung von Ursprung und Ziel, in: Bucher A. J., Peters D. St. (Hrsg): Evolution im Diskurs. Grenzgespräche zwischen Naturwissenschaft, Philosophie und Theologie, Fr.Pustet: Regensburg, p. 217-250.
- . Locker A. (1998c/1999a): Vorstoß zu einer transklassischen Sicht - Eine Betrachtung über den Zustand der Allgemeinen System-Theorie 25 Jahre nach Ludwig von Bertalanffys Tod, Newsletter Dtsch.Ges.f. Systemforsch. e.V. 8 (1/2), p. 8-20.
- . Locker A. (1999b): Recent Approach to Transclassical Systems-Theory. The Paradoxical Unity of Science with Non- and Superscience, in: Lasker G.E. (Ed.): Advances in Syst.Res.& Cybernetics Vol. III, IIASS: Windsor/Ontario, p.11-16.
- . Locker A. (1999c): „Was dich schlägt, wird dich heilen". Reifung und Verklärung des Menschen durch geheilt/ungeheiltes Leid. Ein Anwendungsfall Transklassischer Systemtheorie, in: Dörner et al. (Hrsg), I.c.Nr..., p. 288-317.
- . Locker A. (2001a): Angriff auf die ganzheitliche Weltauffassung. Zurückweisung des Luhmannschen Ansatzes einer System-Theorie, Z.Ganzhf. (NF) 45 (IV) p.171-179.
- . Locker A. (2001b): Die Faszination des Künstlichen - Eine transklassisch system-theoretische Betrachtung, in: Edlinger K., Feigl W., Fleck G. (Hrsg): Reduktion - Spiel - Kreation, P.Lang: Frankfurt/M-Berlin-NewYork, p. 82-98.
- . Locker A. (2001c): „Information" als Begriff der Allgemeinen System-Theorie, EuS 12 (1) p. 33-35.
- . Locker A. (2001d): Unsterblichkeit - Auferstehung - Ewiges Leben. Ein ganzheitlich-systemtheoretischer Kommentar zu drei Topoi der Offenbarungsreligion, Staatsbriefe 12 (7-8) p. 52-57.
- . Locker A. (2002): Hamann und die Naturwissenschaft von heute. Vorweggenommene Kritik der Allgemeinen System-Theorie, Beitr. z. 8. Intern.Hamann-Kolloquium, 3.-7. März, Halle-Wittenberg
- . Locker A., Coulter N. A. jr (1975): An Outline of Teleogenic Systems Theory, Progress in Cybern. Syst. Res. 2, p. 156-165.
- . Locker A., Coulter N. A. jr (1977): A New Look at the Description and Prescription of Systems, Behav.Sc. 22, p. 197-206
- . Locker A., Coulter N. A. jr., Mago G. A. (1975): L'origine, le développement et la croissance des systèmes téléogénétiques. Paradigme des processus biologiques, Revue de Biomath. 49 (1) p. 21-36.
- . Löfgren L. (1968): An Axiomatic Explanation of Complete Self-reproduction, Bull.math.Biophysics 30, p. 415-425.
- . Löfgren L. (1990): On the Partiality of Self-Reference, in: Heylighen F., Rosseel E., Demeyere F. (Eds): Self-Steering and Cognition in Complex Systems: Towards a New Cybernetics, Gordon & Breach: NewYork, p. 47-64.
- . Maturana R., Varela F. J. (1980): Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living, Reidel: Dordrecht-Boston-London.
- . Merz-Benz P.-U., Wagner R. (Hrsg) (2000): Die Logik der Systeme. Zur Kritik der systemtheoretischen Soziologie Niklas Luhmanns: UVK Universitätsverlag: Konstanz.
- . Müller K. (1996): Allgemeine Systemtheorie. Geschichte, Methodologie und sozialwissenschaftliche Heuristik eines Wissenschaftsprogramms, Westdtsch.Vlg.: Opladen.
- . Müller R. (1974): Wissenschaftsforschung und Systemwissenschaften, Neue Züricher Ztg , Nr.484, p. 30.

- . Mullin A.A. (1961): Philosophical Comments on the Philosophies of Charles Sanders Peirce and Ludwig Wittgenstein, Techn.Report No 1, Electr.Engineering Res.Laboratory, University of Illinois, Urbana.
- . Primas H.(1994): Endo- and Exo-Theories of Matter, in: Atmanspacher H., Dalenoort G. J. (Eds): Inside versus Outside. Endo-and Exo-Concepts of Observation and Knowledge in Physics, Philosophy and Cognitive Siences, Springer: Heidelberg-NewYork, p. 163-193.
- . Reisinger P. (1998): Hegels „Logik“ als autogenerative Systemtheorie seiner „Phänomenologie des Geistes“ möglicher System/Umwelt-Verhältnisse, in: Vieweg K. (Hrsg): Hegels Jenaer Naturphilosophie, W.Fink: München, p. 383-401.
- . Rombach H. (1991): Der kommende Gott. Hermetik - eine neue Weltansicht, Rombach Vlg.: Freiburg.
- . Ropohl G. (1997): Eine systemtheoretische Rekonstruktion der Dialektik, in: Klenner H. (Hrsg): Repraesentatio mundi, Fs zum 70.Geburtstag von Hans Heinz Holz, J.Dinter-Vlg.f.Philosophie: Köln, p. 151-163.
- . Rosen R. (1959): On the logical paradox implicit in the notion of a selfreproducing automaton, Bull.Math. Biophysics 21, p. 387-394.
- . Rössler O.E. (1992): Endophysik. Die Welt des inneren Beobachters, Merve Vlg.: Berlin.
- . Rössler O.E. (1996): Das Flammenschwert oder: Wie hermetisch ist die Schnittstelle des Mikrokonstruktivismus, Benteli Vlg: Bern.
- . Shimony A. (1978): Is Observation Theory-Laden ? A Problem in Naturalistic Epistemology, The Philosopher's Annual I, p. 16-145.
- . Spann O. (1939): Kategorienlehre. G. Fischer: Jena.
- . Spencer-Brown G. (1969): Laws of Form, Allen & Unwin: London.
- . Stachowiak H. (1973): Allgemeine Modelltheorie, Springer: Wien-NewYork.
- . Stachowiak H. (Hrsg) (1987-1995): Pragmatik (Hb.d.pragmatischen Denkens), Meiner: Hamburg, Bde I-V.
- . Stachowiak H. (1989): Erkenntnis als Semiose, in: Weingartner P., Schurz G (Hrsg): Grundfragen zur Philosophie und Kulturwissenschaft (Ber. d.13 .Int.Wittgenstein-Symp, Kirchberg 14.-21.VIII. 1988), Hölder-Pichler-Tempsky: Wien, p. 228-235.
- . Thomas Chr. (Hrsg) (1992): „Auf der Suche nach dem ganzheitlichen Augenblick“. Der Aspekt Ganzheit in den Wissenschaften, Vlg der Fachvereine: Zürich.
- . Vallée R. (1995): Cognition et Système. Essai d'Epistémologie-Praxéologie, l'interdisciplinaire: Lyon.
- . Varjú D. (1977): Systemtheorie für Biologen und Mediziner, Springer: Berlin-Heidelberg-NewYork.
- . Willke H. (1996): Systemtheorie I: Grundlagen, Lucius & Lucius (UTB): Stuttgart.
- . Willke H. (1999): Systemtheorie II: Interventionstheorie, Lucius & Lucius (UTB): Stuttgart.
- . Willke H. (1998): Systemtheorie III: Steuerungstheorie, Lucius & Lucius (UTB): Stuttgart.
- . Winter W. (1999): Theorie des Beobachters. Skizzen zur Architektonik eines Metatheoriesystems, vlg. neue wissenschaft: Frankfurt/M.
- . Zweig St. (1986): Das Geheimnis des künstlerischen Schaffens, Fischer: Frankfurt/M.