

# DIE WIRKUNG DER NEWTONSCHEN IDEEN AUF DIE ENTWICKLUNG DER CHEMISCHEN DYNAMIK

Von

I. HRONSKY

Lehrstuhl für Philosophie, Technische Universität, Budapest

Eingegangen am 24. November 1980

Vorgelegt von Doz. Dr. G. Kovács

Wollen wir das umfassendste Wissenschaftsideal des 18. Jahrhunderts zusammenfassend charakterisieren, so können wir sagen: Die Naturwissenschaftler dieser Epoche stellten sich als würdigste Aufgabe, gemäß Newtons Grundwerk »Die mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie«, eine »Prinzipia« ihres Wissenschaftsgebietes auszuarbeiten. An der Grundlegung des Programms übernahm bereits Newton selbst einen zu beachtenden Teil. Einerseits mit der Formulierung eines allgemeinen, jedoch Newton eigenen Programms der analytischen Wissenschaft (aus den Bewegungserscheinungen muß man die Naturkräfte erkennen, daraufhin müssen die weiteren Erscheinungen auf der Grundlage dieser Kräfte erklärt werden, dabei die Erscheinungen der Natur mit mathematischen Formeln zu beschreiben sind), andererseits mit konkreten optischen bzw. chemischen Spekulationen und Experimenten. Die von der Prinzipia skizzierte Bewegungstheorie gab der auf die Erarbeitung der Theorie intenzionierten Naturforschung des 18. Jahrhunderts einen Rahmen.

Worin bestand Newtons direkte Rolle im Falle der Ausarbeitung eines Programms der chemischen Dynamik? Diese Frage kann dem in der Wissenschaftsgeschichte weniger bewanderten Leser überraschend erscheinen, war ja Newton — dem Allgemeinwissen zufolge — Physiker und Mathematiker, der — hauptsächlich das Kraftgesetz der Gravitation und die Dynamik des Sonnensystems formulierte, der epochebildende optische Forschungen betrieb, und der — gleichzeitig mit Leibniz — der Naturwissenschaft ein neues rechnerisches Mittel entdeckte, die Differential- und Integralrechnung. In diesem abgerundetem Newton-Bild sollte doch hie und da etwas geändert werden. Dem Wortgebrauch der Zeit gemäß paßt die Bezeichnung »Naturphilosoph« besser auf Newton, war er doch weit mehr als ein als Fachwissenschaftler verstandene Mathematiker und Physiker. Außerdem verwandte Newton wahrscheinlich mehr Zeit für chemische, unter anderen alchemistische Versuche, als auf die Mechanik; in dieser Beziehung war nicht nur von der Kopierung alchemistischer Schriften die Rede. War Newton also auch Chemiker, nur weniger erfolgreich als Mathematiker und Physiker? Richtiger wäre es vielleicht so zu formulieren, daß der ein umfassendes System der Naturwissen-

schaften erforschende Newton auch auf dem damaligen *terra incognita*, dem Gebiet der Chemie; eine Ausweitung, Verwirklichung, Demonstration seines Programmes suchte.

Newtons naturwissenschaftliche Spekulationen lassen sich im wesentlichen auf drei Momente aufteilen. Erstens beschreibt die Naturwissenschaft nach Newton die wunderbare Ordnung der Natur als Ganzes. Die in der Natur wirkenden Kräfte beweisen überall die Existenz des Schöpfers. Die nicht-materielle Natur der Kräfte bedeutet jedoch keinesfalls, daß sie nicht rational ergriffen, ausgedrückt werden müßten. Newton machte nun *ontologische* Spekulationen über die Kräfte der Natur, jedoch hat möglichst abgelehnt, Gott unmittelbar in seinen *physikalischen* Erklärungen zu verwenden. (Außer der »tangenziellen Kraft« wirkte Gott nicht als *Deus ex Machina*.)

Newtons naturphilosophische Überlegungen bedeuten andererseits — über die »wie funktioniert« Untersuchungen hinausgehend — Analysen der »warum funktioniert es so« und »was ist das, was so funktioniert« Probleme (z. B. Natur der Gravitationskraft).

Die dritte Linie hing mit der in der Himmelsmechanik entwickelten Methode zusammen. *Die Transmission dieser Methode konnte nur unter Vermittlung einer naturphilosophischen Hypothese stattfinden.* Die Basis dieser Übertragung bildete das ontologische Prinzip der Gleichartigkeit der Natur und durch dessen Vermittlung die Begründung der Berechtigung der analogen Schlußfolgerungen. Die naturphilosophische Hypothese erarbeitete, bzw. konkretisierte die Möglichkeiten.

Newtons naturphilosophische Vorstellungen zeigten im Laufe seines Lebens gewisse Veränderungen und Schwankungen, z. B. die Anerkennung der Ätherhypothese oder die Spekulationen über die Anziehungskräfte. Dementsprechend pflegte man zwei Newtonsche Linien zu unterscheiden: die sich aus der Ätherhypothese ergebenden Spekulationen und die sog. »dynamische« Naturphilosophie. Die letztere ist in einer konzentrierten Auffassung in einer in der lateinischen Ausgabe der »Optica« von 1706 zuerst auftauchenden »Frage«, in den späteren Ausgaben die 31. »Frage«, enthalten [1]. Newton hatte bereits der ersten, 1704 erscheinenden Ausgabe der »Optica« »Fragen« angeschlossen, die sich auf die Natur des Lichtes beziehende Annahmen enthielten [2]. In den späteren Ausgaben ergänzte Newton diese »Fragen« zu einer Skizze eines umfassenden naturphilosophischen Systems.

Die 31. »Frage« behandelt eigentlich als zusammenhängendes System die meisten naturphilosophischen Spekulationen Newtons, die aus der Sicht der Ausweitung der dynamischen Naturphilosophie auf die Chemie interessant sind. Die »Frage« ist eigentlich eine lange Erörterung, eine Vorstellung sich auf die Struktur der Materie beziehende Fragen und möglicher Antworten, sowie Aufzählung begründender Evidenzen. Die entscheidende Mehrheit dieser Evidenzen trägt chemischen Charakter.

»Besitzen nicht die kleinen Teilchen der Körper gewisse Kräfte ('Powers, Virtues, or Forces'), auf deren Grundlage sie auch in der Entfernung wirken können?« — fragt Newton, und sich auf die Gleichartigkeit der Natur als ontologischen Ausgangspunkt berufend, gelangt er zu der Schlußfolgerung, daß außer Gravitation, Magnetismus, Elektrizität, deren Wirkung man mit freiem Auge verfolgen kann, auch andere Kräfte sein können, welche auf kleine Entfernungen wirken und bisher unbemerkt geblieben sind. Die elektrische Anziehung kann eine solche Kraft darstellen.

»Die kleinsten Teilchen des Stoffes — schreibt Newton — werden voraussichtlich von der stärksten Anziehung zusammengehalten, welche mit geringerer Kraft ausgestattete, größere Teilchen zustandebringt. Die Verbindung vieler von ihnen kann zur Herausbildung größerer Teilchen führen, deren Kraft kleiner ist, und so weiter, bis der Prozeß dieses Aufbaues bei jenen größten Teilchen sein Ende findet, von denen die chemischen Prozesse und die Farben der natürlichen Körper abhängen, und die Verbindung der Teilchen Körper wahrnehmbarer Größe entstehen läßt . . . Da die Metalle, wenn wir sie in Säuren auflösen, nur kleine Mengen Säure anzuziehen in der Lage sind, kann ihre Anziehungskraft nur auf kurze Entfernungen wirken. Weiterhin, wie in der Algebra die negativen Größen dort beginnen, wo die positiven verschwinden, genauso auch in der Mechanik, wo die Anziehungen aufhören, dort müssen die Abstoßkräfte auftreten. Daß eine solche Kraft existiert, scheint die Bildung des Dampfes und die Luft zu beweisen . . .«

Am Ende der 31. Frage faßt Newton sein Gesagtes zusammen: »All dieses beachtend, ist wahrscheinlich, daß Gott am Anfang die Materie als feste, massive, undurchdringbare, bewegliche Teilchen geschaffen hat, von solcher Größe und Form, mit solchen Eigenschaften und räumlichen Beziehungen, daß sie für das Endziel, in dessen Sinne er sie schuf, am geeignetsten sein sollen; weiterhin sind diese Teilchen, weil fest, unvergleichbar härter als irgendein poröser Körper, der aus ihnen entstand, ja sogar so hart, daß sie nie verschleißten oder in Stücke brechen. Keine einzige gemeine Kraft ist in der Lage, das zu zerstören, was Gott selbst bei der Schöpfung entstehen ließ. Solange, wie die Teilchen ganz bleiben, setzen sich aus ihnen Körper gleicher Natur und gleichen Aufbaus zusammen. Wenn sie jedoch verschleißten oder zerbrechen würden, dann würde sich die Natur der von ihnen abhängenden Körper verändern . . . Damit die Natur der Körper konstant bleiben soll, besteht ihre Veränderung ausschließlich aus den Trennungen, Neuvereinigungen, sowie den Bewegungen der konstanten Teilchen, da die zusammengesetzten Körper nicht im Zentrum der festen Teilchen, sondern dort auseinanderbrechen, wo sie aneinandergelagert sind, und sie berühren einander nur in einigen Punkten . . . Weiterhin scheint es so, daß diese Teilchen nicht nur die Eigenschaft der Trägheit besitzen, sich den diesem Prinzip entsprechenden passiven Bewegungsgesetzen unterwerfend, sondern auch solche

aktiven Prinzipien unterstützen sie, wie die Schwerkraft oder die Fermentation und die Kohesion« [3].

Der heutzutage ungewöhnlichen Unterscheidung von aktiven und passiven Prinzipien können wir uns am besten so annähern, wenn wir uns die allein die sich bewegenden Teilchen und deren Zusammenstöße anerkennende, in erster Linie Descartes' und Boyles Konzeption ausdrückende Anschauung, sowie Newtons religiöse Vorstellungen vor Augen halten. Im auf die Zusammenstöße der stofflichen Teilchen reduzierten Naturbild ist von den vier Prinzipien des Aristoteles der Zielgrund bereits verschwunden, der stoffliche Grund hat sich mit der Form vereinigt, und der Wirkungsgrund bedeutete einfach die sich in ihrer Bewegung ausdrückende Existenz der Teilchen, welche sich in den Zusammenstößen realisierte. Für Newton schien es dagegen nicht ausreichend, die Bewegungserscheinungen nur als Zusammenstöße zu behandeln, diese dabei radikal auf den erklärenden Mechanismus reduzierend. Das Verhalten des bloß mit inertieller Kraft ausgestatteten, als passives Prinzip der Natur existierenden Stoffes — die Trägheit gegenüber der Veränderung seines Bewegungszustandes — können wir mit den entsprechenden Bewegungsgesetzen beschreiben. Bei Newton besitzt der Stoff als passives Prinzip jedoch außer der Trägheit auch andere Eigenschaften. Wie wir schon sehen konnten, sind nach Newton die endgültig kleinen Teilchen des Stoffes absolut harte und undurchdringbare Dinge. Die wahrnehmbaren Gegenstände sind natürlich nicht von solcher Art. Die Relativität der Härte letzterer kann nach Newton gerade damit erklärt werden, daß die Dinge sich so aus den endgültig kleinen Teilchen aufbauen, daß diese sich einander gerade nur berühren und untereinander viel freien Raum lassen. Deshalb sind die Körper komprimierbar.

Für die Bewegungen und Veränderungen sind zum Teil die »aktiven Prinzipien« verantwortlich, welche in erster Linie als Anziehungskräfte wirken. Die zitierten Teile der 31. Frage bezeugen, daß Newton hier eine doppelte Aufgabe zu lösen versuchte. Einerseits wollte er in der Naturerklärung fort-schreiten, die neuen Kräfte per Analyse — in Analogie zur Gravitation — aus den Erscheinungen ausdrückend; andererseits versuchte er auf rationalem Wege dem göttlichen Eingriff in die Natur, in die stofflichen Prozesse einen Platz zu sichern, vorausgesetzt, daß der Stoff ohne die äußeren, aktiven Prinzipien ein zur Tätigkeit unfähiges Objektum wäre. Die Struktur der analytischen Denkweise bot abstrahierend die Möglichkeit zu dieser Voraussetzung. Die zu Ende geführte Analyse führt zu einem in seiner bloßen Existenz begriffenen Stoff, dessen Existenz sich gegenüber den »Kräften«, den als vom Stoff unterschiedlich angenommenen Wirkungsfähigkeiten als »passives Prinzip«, als Trägheit offenbart. Die Ergebnisse des Abstraktionsprozesses direkt als wirkliche Kategorien betrachtet, ergibt sich das metaphysische Naturbild. Die Forderung der religiösen Ideologie beschleunigte die Herausbildung dieses

Naturbildes, sie ist jedoch selbst nicht eine pure ideologische Verzerrung der Erkenntnis, sondern eine die analytische Arbeit, die Naturforschung begründende Hypothese [4]. Die aktiven Prinzipien, die Gravitation, die Elektrizität, der Magnetismus also bewegen die Dinge; und Newton bemühte sich ein Jahrzehnt lang mit Überlegungen und Experimenten wahrscheinlich werden zu lassen, daß auch auf dem Gebiet der Chemie eine ähnliche Kraft wirkt: die »Fermentation«. Er wünschte die Begründung der Rationalität einer indirekten Folgerung aus der Wahrscheinlichkeit, und dieses war überhaupt nicht leicht. Newton versuchte zu beweisen, daß wir als Grund für die verschiedensten chemischen Erscheinungen die Wirkungen von Anziehungskräften annehmen können.

Die Beweise waren u. a.: die Berufung auf die Wasseraufnahme einiger Salze, darauf, daß die Schwefelsäure Wasser »ansaugt«, daß beim Zusammenschütten von Schwefelsäure und Wasser Wärme entsteht, niederschlagsbildende Reaktionen, sogar auch der Prozeß der Kristallbildung [5]. Die Erklärung des voneinander abweichenden Verhaltens von Königswasser und konzentrierter Salpetersäure gegenüber Silber und Gold zeigt, wie Newton Argumente suchte, um die Unzulänglichkeit der rein mechanischen, erklärenden Hypothese nachzuweisen. »Könnten wir nicht sagen, daß die aqua fortis genügend kleine Teilchen besitzt, um in das Gold und das Silber einzudringen, aber nicht die entsprechende Anziehungskraft hat, die das Eindringen im Falle des Goldes möglich zu machen . . . Wenn also die Salzsäure (»Spirit of Salt«) das Silber aus der aqua fortis ausfällt, erfolgt das dann deshalb, weil die Salzsäure und die aqua fortis sich gegenseitig anziehen, und miteinander vermischen, während die Salzsäure das Silber nicht anzieht, sogar eventuell abstößt?« Nach Newton läßt sich mit dem Fehlen der Anziehungskräfte erklären, daß sich die Teilchen von Wasser und Öl nicht miteinander vermischen, und mit der Schwäche der Anziehung, daß sich Quecksilber und Kupfer schwer vermischen, entgegen dem leicht herzustellenden Zinnamalgalam, was dagegen auf starke Anziehungskräfte weist [6].

Die Chemie war demzufolge wichtig für Newton — als nächster Probestein seiner Methode der Naturforschung und Naturphilosophie. Nicht umsonst bemerkte die ironische Kritik, daß es keine chemischen Erscheinungen gibt, die ihm nicht wertvoll gewesen wären zum Beweis seiner Anziehungskraft-Konzeption [7]. Wie wichtig war jedoch Newton für die Chemie? *Newton skizzierte als naturphilosophische Hypothese ein eigenes stoffstrukturelles Bild, bzw. bot damit im Zusammenhang den Entwurf von für die chemischen Veränderungen verantwortlichen, auf kurze Entfernungen wirkenden Kräften an. Wenn der Forscher die Gründung einer Principia der Chemie als zeitgemäße Aufgabe annahm, dann bedeutete die Hauptaufgabe für ihn die experimentelle und mathematische Untersuchung der bezeichneten Kräfte. Das par excellence Newtonsche Forschungsprogram war die Ausarbeitung einer auf der Charakterisierung der*

*sich als Grund der Fermentation erweisenden eigenen Kraft beruhenden chemischen Dynamik, welche, entgegen der physikalischen Chemie der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, sich nicht auf ein chemisches stoffstrukturelles Bild, nicht auf den chemischen Elementbegriff stützte, sondern auf die Vorstellung der »endgültigen Teilchen des Stoffes«. Auf wen und wie wirkte diese Naturphilosophie?*

Zur Beantwortung dieser Frage müssen wir einen kurzen Abstecher in die frühere Geschichte der Vorstellungen über die chemische Affinität unternehmen. Es ist bekannt, daß die Affinitätsvorstellungen im Anfang in der animistischen-mystischen Denkweise wurzeln, und daß in der Geschichte der griechischen Naturphilosophie eine Entwicklung dieser Vorstellungen nachzuweisen ist. Am Anfang des 17. Jahrhunderts erschienen bei den verschiedensten Autoren die »Liebe« und der »Haß« als erklärende Prinzipien. Der eigene, »elective« Charakter der chemischen Prozesse bot die Möglichkeit zur animistischen Deutung. Dem Durchschnittsdenken jener Epoche gemäß sind die Stoffe mit der Fähigkeit zu Sympathie und Antipathie ausgestattet; und nach dem Prinzip »Gleich und gleich gesellt sich gern« funktioniert eine selektive Wirkung, genauso, wie zwischen einander fremden Stoffen Abstoßung wirksam wird. Oft setzen sie vorherigen »Perzeption« voraus, manchmal direkt auf animistische Weise. Die chemischen Prozesse zeigen die naive und antropomorphe Dialektik des »Mikrokrieges«. Die Karthesianer in Frankreich und Boyle in England treten gegen die Affinitätsvorstellungen auf; und sie wegen ihres obskuren Charakters verwerfend, zeigen sie in der Ausarbeitung, rein mechanischer Erklärungen die Befreiung von der Last des Animismus. Die Affinitäten seien »verborgene Qualitäten«, behaupteten — zwar mit entgegengesetzter Wertung — sowohl die chemischen Meister, wie auch ihre karthesianischen Kritiker.

Die chemische Technik begann sich im 17. Jahrhundert sprunghaft zu entwickeln, und die Affinitätsvorstellungen gaben — wie obskur sie auch waren — den chemischen Erfahrungen eine gewisse anschauungsmäßige Einheit. Die Meister wußten sehr gut, daß einzelne Säuren stärker sind als andere, die sie aus deren Salzen freisetzen können; und sie wußten auch, daß einige Metalle durch andere »zementierbar« sind. Im praktischen Wissen häuften sich qualitativ bzw. semiquantitativ in Reihe geordneter Erfahrungen an. Dagegen trat ein Widerspruch zwischen der relativen Rationalität der erfahrungsmäßigen Kenntnisse und dem obskuren Charakter ihrer Erklärung auf. Die Newtonsche Naturphilosophie versuchte diesen Widerspruch mit einem annehmbaren Modell der Affinität rational zu lösen, diese dabei als Anziehung oder eventuell — im Komplex — als Resultat von Anziehungen und Abstoßungen deutend.

In England fand die Lehre Newtons in den Anschauungen John Keills und John Freinds die ersten Nachfolger. Schon in der ersten (gegenüber der *Optica an* Ahnungen sehr armen) Ausgabe der *Principia*, 1687 erscheint jener

Gedanke, daß solche Kräfte existieren können, die der Entfernung höher als in quadratischem Maße umgekehrt proportional sind, also kurze Wirkungs-entfernungen besitzen [8]. Als 1706 die zur *Optica* gefügten Fragen erschienen, kannte Newtons Freundeskreis bereits seit etwa einem Jahrzehnt Newtons Annahmen. Keill machte den Satz von den in der Natur universal herrschenden Anziehungskräften zum Ausgangspunkt seines Systems, und er stellte 30 sich darauf beziehende Thesen auf [9]. Keill setzte voraus — Newtons Meinung annehmend —, daß neben der Gravitation auch eine andere Kraft existiert, eine solche Kraft, die mit der Entfernung in höher als quadratischem Verhältnis abnimmt. Mit dieser Annahme charakterisierte Keill die Kohäsion und die Elastizität, und mit deren Hilfe skizzierte er den Ablauf der Kristallisierung, des Lösens und der Fermentierung. Seine Ableitungen sind von allgemeiner und spekulativer Art, wie das aus dem über die Bedingungen des Lösens geschriebenen hervorgeht. Die Bedingung des Lösens besteht Keills Meinung nach darin, daß einerseits die Teilchen des sich lösenden Körpers die Teilchen des Lösungsmittels besser anziehen als dessen Teilchen bzw. die Teilchen des Lösungsmittels einander. Andererseits müssen die Körper solche Poren besitzen, in die das Lösungsmittel eindringen kann.

Die Idee der Anziehungskräfte, genauer der auf kurze Entfernungen wirkenden Anziehungskräfte, wurde zum Forschungsprogramm. In diesem Rahmen studierte Hauksbee, der Experimentator der Royal Society und Newtons, mit breitangelegter experimenteller Arbeit die Erscheinung des Kapillaranstiegs. James Keill, John Keills Bruder, versuchte, das Prinzip der Anziehungskräfte in der Tierphysiologie anzuwenden [10].

Die Größe der Schwerkraft hängt von der Menge des Stoffes ab. Für die auf kurze Entfernungen wirkenden Kräfte setzte man jedoch voraus, daß ein größeres Teilchen keine größere Anziehungskraft ausübt, als ein kleines. Nach James Keills Hypothese führt die Abweichung in der Form der Teilchen zu verschiedenen Stufen der Anziehung.

Freind versuchte auf seinen 1704 gehaltenen Vorlesungen, die Grundlagen der chemischen Dynamik systematisch darzulegen. Seiner Meinung nach wirken zwischen den Teilchen solche Anziehungskräfte, die auf sehr kleine Entfernungen wirken und sich infolge der abweichenden Struktur und Dichte der Teilchen unterscheiden, welche weiterhin gerichtet sind und nur in der Wechselwirkung zwischen den Teilchen zur Geltung kommen. Alldieweil die »Geschwindigkeit« der Bewegung der Teilchen umgekehrt proportional zu ihrer Masse ist, nähern sich die kleinen Teilchen schneller einander an. Dementsprechend reagieren die aus kleinen Teilchen bestehenden Stoffe heftig. Freind unternahm große Anstrengungen, um für die Beziehungen verschiedenartiger Kräfte auf spekulativem Wege algebraische Formeln aufzustellen, z. B. für die Kristallisation, das Lösen usw. Nach seiner Anschauung — wie es auch der Untertitel seines Buches vermuten läßt — gelangte die Chemie mit Hilfe der Hypo-

these von den Anziehungskräften prinzipiell in das Stadium der deduktiven, mathematischen Erklärbarkeit [11].

Gegeben war also, als was man die chemischen Veränderungen erklären müsse, wenn man die angenommenen Kräfte messen könnte. Das Ziel der Überlegungen der Brüder Keill und Freinds war jedoch eher das Aufzeigen der prinzipiellen Möglichkeit einer Erklärung. Die hypothetisch-deduktive Ausarbeitung des Newtonschen Bildes der Stoffstruktur gewann vor allem in der sich zwischen Newton und Leibniz entwickelnden Polemik besondere Bedeutung: dieses Bild explizierte scharf den Unterschied zwischen ihren Anschauungen. Wie bekannt, wurde die Diskussion in erster Linie von Newtons Schülern geführt. In Beziehung zur Chemie mußte man bekräftigen, daß das auf den Anziehungskräften und dem Vakuum beruhende Naturbild auch die Basis der Chemie bildet, und daß aus dieser Sicht die experimentellen Details zweitrangig waren.

In Zusammenhang mit der Diskussion wird verständlich, warum Newton seine Annahmen veröffentlichte. Der vorsichtige Newton brachte hinter der Maske der Fragen viele solche Gedanken an die Öffentlichkeit, die zwar seine jahrzehntelangen Überlegungen zusammenfaßten, jedoch eher Forschungsprogramme waren als Ergebnisse.

In unseren Tagen verbreitet sich immer mehr eine solche Interpretation, daß Newtons Spekulationen über die auf kurze Entfernungen wirkenden Kräfte aus der Sicht der Entwicklung der Wissenschaft weniger bedeutend gewesen wären, daß sie ihre Bedeutung eher der Newton—Leibniz-Diskussion verdanken. Unserer Anschauung nach — und wir kommen darauf noch zurück — *faßte dagegen Newtons Auffassung als naturphilosophische Hypothese die Möglichkeit der Transmission der in der Mechanik ausgearbeiteten analytischen Erläuterungsweise auf andere Gebiete der Naturforschung zusammen; und das Programm einer universalen Dynamik aufstellend, fügte sie sich in den Prozeß des Fortschreitens der Erkenntnis ein. Als folgendes Moment der Entwicklung erschien das Problem, daß das Programm, das die natürlichen Erscheinungen mit Hilfe von Kräften analytisch erläuterte, zwei voneinander sehr verschiedene Möglichkeiten in sich birgt. Dementsprechend nämlich, ob unserer naturontologischen Annahme gemäß jede Veränderung pure Bewegung im Sinne der Mechanik ist, oder ob zwar jede Veränderung durch Bewegung vor sich geht, aber aus der Umbildung der spezifischen Parameter der Objekte besteht, die jedoch keine Bewegungsparameter sind, obwohl ihre Veränderungen analytisch ausdrückbar sind, erhalten wir zwei vollkommenen abweichende Programme. Das letztere Programm (die analytische Erläuterung der spezifischen Veränderungstypen) bedeutet das darauffolgende Stadium der Herausbildung der analytischen Naturkenntnis. (Ein Beispiel für dieses modifizierte analytische Programm ist die Begründung der Mathematik der chemischen Gleichgewichte und der Reaktionsgeschwindigkeit in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Hier ist von der zeitlichen Veränderung der Konzentration die Rede, nicht vom Bewegungsproblem.)*

*In gewissen Beziehungen erscheint die Newtonsche Vorstellung in diesem Entwicklungsprozeß als unentbehrliches vermittelndes Kettenglied.*

Wie bekannt, beobachtete man die englische Naturphilosophie in den 1700er Jahren mit lebhafter Aufmerksamkeit. Der guten Beziehung setzten die sich in der Newton — Leibniz-Diskussion herausbildende Polarisierung bzw. der Krieg ein Ende, obwohl auch noch 1715 viele französische Wissenschaftler sich in England aufhielten. Später jedoch hatte ein französischer Wissenschaftler kaum noch die Möglichkeit, mit den Newtonschen Anschauungen — zumindest öffentlich — zu liebäugeln. Die Idee der Anziehungskräfte erschien dem karthesianischen Denken als okkult, und der Karthesianismus hatte nicht nur rationale Argumente dagegen, sondern auch Macht. Gleichzeitig strebten die französischen Naturwissenschaftler von Beginn des 18. Jahrhunderts an immer mehr danach, sich der kirchlichen Kontrolle zu entziehen; demzufolge konnten sie sich weniger mit einer solchen Naturphilosophie anfreunden, die die Religion und die Wissenschaft in einer strengen Einheit zu verbinden suchte. Die Chemiker begannen sich langsam zu isolieren; sie wurden von der Vielfalt der experimentell untersuchbaren Erscheinungen in Anspruch genommen, und sie wollten ihre Prinzipien nicht in ein umfassendes naturphilosophisches System gepreßt, mit demselben Ballast aufstellen.

Unter diesen Umständen erschien 1719 Geoffroys Tabelle. Geoffroy war seit 1699, als er in London war, offizielles korrespondierendes Mitglied der französischen Akademie, der Verbindung auch zur englischen Königlich-Gesellschaft hielt. Geoffroy verfolgte mit lebhaftem Interesse das Aufschäumen des englischen wissenschaftlichen Lebens nach der 1706 erschienen Ausgabe der *Optica*, sowie auch Hauksbees Experimente. In der schon oft zitierten 31. »Frage« teilte Newton auch die Affinitätsreihe der Metalle mit, die wir auch in Geoffroys Tabelle wiederfinden. Es kann sein, daß hier Newton direkt auf Geoffroy gewirkt hat. Auf alle Fälle vermied Geoffroy in seiner Veröffentlichung dem Ausdruck »Anziehung«. Seine Tabelle systematisierte die "Beziehungen" zwischen den chemischen Stoffen.

Für diese eigenartige Benennung gibt es in der Literatur die folgende Standarderklärung. Geoffroy — obzwar möglich, daß ihn Newton inspirierte — publizierte, um die Folgen einer Brandmarkung als »Newtonianer« zu umgehen, von seinen Ergebnissen allein die gegenüber der gerade auflebenden naturphilosophischen Diskussion neutralen Teile. Es ist wohl gewiß, daß dieses ein wichtiges Moment war, doch es scheint, daß auch andere Gründe dabei mitspielten. *Geoffroy wollte mit seiner Tabelle der Praxis eine Hilfe bieten, seine Tabelle sollte experimentelle Prediktionen möglich machen. Dazu jedoch bestand nicht die Notwendigkeit der theoretischen Erläuterung der empirischen Daten, sondern allein auf die verallgemeinerten Daten selbst. So zeigte sich sogar noch deutlicher, daß seine Ergebnisse sollten unabhängig von einer »Parteinahme« verwendbar sein.*

Was enthielt Geoffroys Tabelle? »In der Chemie — schrieb er — sind zwischen den verschiedenartigen Körpern gewisse Beziehungen zu beobachten, denen entsprechend sie sich verbinden. Diese Beziehungen besitzen Abstufungen, und diese sind gesetzmäßig . . . Wann immer sich zwei Stoffe miteinander vereinigt haben, und wir geben zu ihnen einen dritten, der zu einem von beiden eine stärkere Beziehung hat (sic!), dann wird er sich mit diesem verbinden, wobei die ursprünglichen Stoffe voneinander getrennt werden. Dies ist jene Eigenschaft, von der ein großer Teil der latenten Bewegungen abhängt, die bei der Vermischung der Stoffe auftreten, die ohne diesen Schlüssel undurchdringbar wären. Mit Hilfe dieser Tabelle kann man in kurzer Zeit eine adäquate Vorstellung von den Beziehungen zwischen den verschiedenartigen Stoffen entwickeln, und die Chemiker finden so eine leichte Methode zur Bestimmung dessen, was beim Durchführen ihrer Operationen erfolgt« [12].

*Die Tabelle enthielt also das verallgemeinerte Ergebnis der Beobachtungen, und gewollt oder ungewollt beschränkte sie den untersuchten Begriff — die Affinität — auf den operationalen Teil, die Bestimmung seines Gehaltes allein auf einen Vergleich reduzierend. Gleichzeitig bot sie auch eine Systematisierung und versprach gewisse Prognosen.* Unter den gegebenen Umständen der wissenschaftlichen Forschung und den Möglichkeiten der Chemie der Epoche führte die Newtonsche Stimulation nur zu einer sich auf die bloße Empirie beschränkenden Tabelle. Solange Newton — viel über die Natur der Kräfte, der Anziehungen nachdenkend — den Begriff der Anziehung aus den Erscheinungen deriviert auffaßte, und meinte, daß allein soviel als Spekulation oder Zusatz zu den Erscheinungen betrachtet werden kann, daß diese Anziehungen möglicherweise auf irgendeinen anderen Mechanismus, auf Abstoßung zurückgeführt werden können, so erschien *nur die Existenz der Beziehungen als Erfahrung* für die — französischen — Chemiker. Die Annahme der Kräfte, bzw. der *Anziehungskräfte* spielte nur als eine solche erklärende Hypothese eine Rolle, die, wenn auch beim Beginn der Forschungsarbeit der empirischen Systematisierung vorlag, von den Ergebnissen jedoch schon getrennt werden konnte.

Einen solchen scharfsinnigen Kritiker freilich, wie Fontenelle, den Sekretär der Akademie und Verteidiger des Kartesianismus konnte Geoffroy nicht täuschen. Die wissenschaftliche Öffentlichkeit, selbst Fontenelle, hielt die Tabelle für wichtig, da sie Erfahrungen systematisierte und Predictionen versprach. Ihre weitere Ausarbeitung, die Erhöhung der Exaktheit erschien als wichtig. Anders war die Meinung über den mehr oder weniger bekannten, zwar verheimlichten erklärenden Hintergrund: »Gäbe es Anziehungen, könnte dieses die Tabelle beweisen« — sprach Fontenelle 1719 die ironische kartesianische Meinung aus [13].

Um die Verbindung zu den experimentellen Daten zu finden, gab Geoffroy dem Affinitätsbegriff eine vereinfachende Deutung. Das Verhalten der Stoffe A, B und C beschreibt eindeutig der folgende Zusammenhang:



insofern die Affinität von C zu A größer ist als die von B. Der Vorgang wird nur vom Verhältnis der Affinitäten AB und AC bestimmt, welches — unabhängig von den Umständen — konstant ist. Die Weiterentwicklung der Systematisierung der Erfahrungen, der experimentellen Forschung wurde von dem sich aus seinem Charakter eines Prokrustes-Bettes ergebenden Widerspruch dieser vereinfachenden Vorstellung bestimmt.

Die Weiterentwicklung der Affinitätstabelle ließ allerdings lange auf sich warten. Bis zu den 1740er Jahren entstand keine neue ähnliche Tabelle. Ab da jedoch entstanden immer mehr, ganz bis zu den siebziger Jahren des Jahrhunderts, dem Gipfelpunkt. Bis dahin jedoch kamen zu der ursprünglichen Newtonschen Stimulation viele andere Wirkungen dazu, diese ergänzend und umgestaltend.

Bei Newton besteht — wenn auch nur im Hintergrund — die Möglichkeit der Abstoßungskräfte. Mit dem Aufschwung der Gasuntersuchungen erhielt diese Hypothese in der englischen Naturphilosophie eine immer stärkere Betonung; zuerst bei Hales, bald darauf mit ihrem gesamten Gewicht bei Cullen [14]. Die Annahme der Abstoßungskräfte wurde bei der Deutung des Verhaltens der Gase plausibel.

Nach dem Newtonschen Stoffstrukturbild verbinden sich die primären, winzigen, verschiedenförmigen Teilchen zu kleinen Gruppen, z. B. zu den kleinsten Teilchen des Goldes. Aus diesen endlich — mit Übergängen — baut sich die makroskopische Stoffmenge auf. Dieses von den Stoffstruktur-Theorien des 17. Jahrhunderts ererbte komplizierte System gelangte jedoch immer mehr in einen Gegensatz zu den Bedürfnissen der chemischen Forschung und zu den sich im Zusammenhang mit den chemischen Elementen anhäufenden Kenntnissen. Es wurde immer offensichtlicher, daß diese stoffstrukturelle Spekulation dem Chemiker eine Erklärung des Aufbaus der einfachen Stoffe (der Elemente) geben könnte, wenn man sie konkretisieren könnte, in der direkten Forschung hat sie jedoch keinen Nutzen. Diese Spekulationen können das Interesse des »Physikers« ausdrücken — wie zu Mitte des Jahrhunderts Venel diese abqualifizierte [15] —, für den Chemiker ist es aber viel wichtiger, seine eigene Elementenlehre aufzustellen. Das Newtonsche Erbe als Problem der Erforschung der chemischen Kräfte besaß in der Mitte des Jahrhunderts zwar noch immer Anziehung, im Vergleich zu dieser war jedoch immer weniger interessant — zumindest unter den Chemikern — die auf Annahme der Atome beruhendes stoffstrukturelles Bild. Die Newtonsche naturphilosophische Hypothese bedeutete eine grundlegende Hilfe in der Emanzipation der sich entfaltenden neuen Naturwissenschaft, da sie jedoch keine Möglichkeit mehr zu produktiver, mit Experimenten in Zusammenhang bringbarer Betrachtung bot, gleichzeitig immer unmißverständlicher die Herausbildung eigener neuer,

auch deren Grenzen festlegender Begriffe der entstehenden Fachwissenschaft behinderte, mußte man sich von ihr befreien. Jetzt erschien bereits diese Hypothese als ideologischer Ballast. Den führenden Chemikern der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts war die sich aus den Begriffen des Stoffes und der Bewegung — in Boylescher oder Newtonscher Form — aufbauende stoffstrukturelle Spekulation bereits immer mehr fremd. Die der neuen Rationalität entsprechende Naturphilosophie, das Stoffstrukturbild begab sich mit Galileis Bemerkungen auf einen zu vielen Triumphen führenden Weg; 150 Jahre später dagegen, in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts, »ging es in Rente« [16].

In diesem Zeitraum veränderte sich die Himmelsmechanik als Wissenschaftsideal: es bildete sich die französische mathematisch-physikalische Schule heraus. Für sie war Newtons Erbe nicht mehr die Naturphilosophie der den toten Stoff in Bewegung bringenden und dessen Bewegungen beeinflussen den Kräfte, sondern allein eine Kraftphänomenologie. Die Kräfte sind einfach mathematisch und experimentell analysierbare Eigenschaften, die mit allgemeinen Gleichungen charakterisiert werden können.

Der Urvater dieser Schule, Maupertuis, sah das Studium der auf kurze Entfernungen wirkenden Kräfte als wichtig an, wie auch das Aufstellen eines entsprechenden Kalküls; und empfahl den Forschern diesbezügliche Untersuchungen [17]. Die französischen Chemiebücher der Mitte und zweiten Hälfte des Jahrhunderts stellten noch fest, daß das System der Newtonschen Himmelsmechanik auf diesem Gebiet das Muster der chemischen Wissenschaft darstellt. Die chemische Affinität ließ sich jedoch nicht auf dem Wege mathematischer Spekulationen ins Kalkül fassen. Die Entfernung von Wissenschaftsideal und aktuell ausführbarer Aufgabe wurde immer offensichtlicher.

Die auf den Kräften mit kurzen Wirkungsentfernungen, weiterhin auf der Teilchen-Vakuum-Struktur des Stoffes basierende Vorstellung und die Analogie der Erklärungsmethode der Himmelsmechanik konnten in drei Richtungen wirken. Einerseits konnten sie den Gegenstand einer naturphilosophischen Diskussion bilden, mehr oder weniger in ihrem Ganzen, oder in ihren Details. Andererseits konnten sie darauf stimulieren, die Forschung auf das Auffinden der Kraftgesetze, als mathematische Formen der Entfernungsabhängigkeit der Kraft, zu konzentrieren. Das versprach gegenüber der vielschichtigen Individualität der Erscheinungen als deren allgemeines Verständnis einen diese generalisierenden Mechanismus, natürlich nur auf den mechanischen dynamischen Teil beschränkt. Die erwähnte Vorstellung bzw. Analogie konnte endlich einen solchen Hintergrund der experimentellen Forschung bilden, die der Durchführung gewisser empirischer, experimenteller Arbeiten heuristische Inspirationen gab. Auch noch nach 1750 begegnet man allen drei Wirkungen, obwohl im Vergleich zur ersten Hälfte des Jahrhunderts in modifizierten Formen.

Bei einem Teil der französischen Naturphilosophen änderte sich die ontologische Stellung der Kräfte. Die Kräfte betrachtete man immer mehr als Attribut, als nicht verfremdbare Eigenschaft des Stoffes, den dynamischen Charakter als zum Wesen des Stoffes gehörend. Das war sowohl aus ideologischer, wie auch aus naturontologischer Sicht ein bedeutendes Ergebnis. Für die französische materialistische Naturphilosophie wurde die Chemie zum Beweis des sich in den kleinen Teilchen spannenden Dynamismus. Wie sehr dieser Schritt jedoch auch wichtig in der Naturphilosophie war, die konkrete naturwissenschaftliche Erkenntnis der Kräfte beschleunigte er nur indirekt an.

Das Newtonsche naturphilosophische Erbe veränderte man in der Mitte des Jahrhunderts gleich in zwei Richtungen. Buffon meldete sich mit einer solchen Überlegung, daß die Gravitation überall gültig sei und der Stoff unter der universellen Herrschaft der Gravitation stehe [18]. Prinzipiell müsse man also nach Buffon auch für die bisher stärker als  $1/r^2$ -entfernungsabhängig gehaltenen Kräfte die Form  $1/r^2$  annehmen. Diese Annahme führte zu gewissen Betrachtungen in Zusammenhang mit der Form der kleinsten Teilchen bzw. der Textur der Stoffe, die Spekulationen über die chemischen Wirkungskräfte für kurze Zeit wieder belebend.

Die andere spekulative Bemühung verbindet sich mit dem Namen von Boscovich. Boscovich kritisierte Newton auf Leibniz' Anregung hin und versuchte, Leibniz' Prinzip der Stetigkeit zur Geltung zu bringen, nach welchem in der Natur keine Sprünge vorkommen. Er probierte die Aufstellung einer solchen Kraftfunktion, welche in Abhängigkeit von der Entfernung die gesamten bekannten Wechselwirkungen qualitativ erklären könnte. Alldieweil im Newtonschen System die Erklärung mit der Form der Teilchen prinzipiell eine redundante Annahme war, verwarf Boscovich diese. Seine Teilchen besaßen überhaupt keine Ausdehnung, konnten so auch keine Form haben. Sie wurden zu einfachen Punkten, Kraftfeldpunkten, die von einem Kraftfeld umschlossen waren. Boscovich wollte gleichzeitig nicht nur die Redundanz in der Erklärung beseitigen, als wichtiges Verdienst die Fundamente der späteren Kraftfeld-Konzeptionen legend, sondern auch der erstarkenden materialistischen Naturphilosophie den Boden entziehen. Insofern nämlich ausschließlich Kraftfeldpunkte existieren, denen die Masse eine nicht inherente Eigenschaft ist, dann gibt es auch keine Materie, und nichts ist, auf dem der Materialismus basieren kann. In Boscovich' System besitzt auch die Deutung der chemischen Prozesse einen bescheidenen Platz. Auf dem Niveau der Allgemeinheit der Keillschen, Freindschen Argumentation bleibend, meinte Boscovich, daß von seiner Kraftfunktion ausgehend die verschiedenartigen chemischen Prozesse zu verstehen sind. Er skizzierte auch deren Erklärungen [19].

In der Mitte des Jahrhunderts begann der Aufschwung der chemischen Manufakturen. Deren Bedürfnisse (gesicherte empirische Prognosen wurden

immer notwendiger) weiterhin die Erfolge der mathematischen Physik stimulierten die Chemiker erneut, zu versuchen, die chemische Affinität in ein Kalkül zu fassen. Den ersten Schritt bedeutete die Herausbildung der meßbaren Größen. Was wäre zu messen, und wie? Den auf dem Niveau der Naturphilosophie akzeptierbar festgelegten, aus dem Blickwinkel der Fachwissenschaft jedoch notwendigerweise verschwommenen, mehrdeutigen Affinitätsbegriff mußte man spezifizieren, damit er experimentell untersuchbar werde. Das war natürlich nicht nur auf eine Art und Weise vorstellbar. Der Stoff A kann eine größere Affinität besitzen, »stärker« sein als B, wenn er C aus einer seiner Verbindungen in kürzerer Zeit, oder in größerer Menge als B verdrängt usw. Andererseits konnten die Chemiker den in Geoffroys Tabelle spezifizierten Affinitätsbegriff (demzufolge A affiner als B, wenn infolge der Zugabe von A zu BC B freigesetzt wird, bis B, A aus AC verdrängt) nicht eindeutig verwenden. Die Erfahrungen begannen zu zeigen, daß die Affinitätstabelle umstandsabhängig ist: sie hängt z. B. davon ab, ob die Reaktion auf trockenem oder nassem Wege durchgeführt wird, sie hängt von der Temperatur ab, von den weiteren Partnern im Reaktionsgemisch usw. In den 1770er Jahren unterschied Macquer bereits sechs verschiedene Affinitäten. Zu dieser Zeit wurden zwei Affinitätstabellen veröffentlicht, eine für trockene und eine für nasse Reaktionsbedingungen.

Die auf rein chemischem Wege gesammelten Erfahrungen stellten kaum eine Möglichkeit der Messung der Affinität in Aussicht. So gelangten die physikalisch-chemischen Versuche in den Vordergrund. (Wie bekannt, bildete sich die physikalische Chemie als Wissenschaftszweig erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts heraus, der Entfaltung dieser Disziplin ging jedoch eine jahrhundertlange Entwicklung der physikalisch-chemischen Untersuchungen voraus.)

Guyton de Morveau versuchte, die charakteristischen Affinitätszahlen durch die Messung der Adhäsion von Metallscheiben zu Quecksilber zu finden, und stellte mit Freude fest, daß die so gewonnene Reihe qualitativ mit der auf chemischer Grundlage aufgestellten übereinstimmt bzw. eventuell als deren Präzision gedeutet werden kann [20]. Wenzel verfuhr anders: er untersuchte die Lösungsgeschwindigkeit von Metallen in Säuren. Seiner Meinung nach bestimmen die Kraft der Affinität und der »Widerstand« des Körpers gemeinsam die Lösungsgeschwindigkeit [21]. In diesen Untersuchungen Wenzels — auf für die Ursprungssuche der späteren induktivistischen Geschichtsforschung charakteristische Weise — meinten später viele das erste Studium der Gleichgewichte zu sehen, wie auch in den Experimenten Kirwans. Nach Kirwan muß auf Wirkung der Anziehungskräfte eine Zunahme des spezifischen Gewichts auftreten, die der Affinität proportional ist [22]. Zur Berechnung dieser mußte man die Gleichgewichtsmengen verschiedenartiger Stoffe messen. Es ist zu sehen, daß die einzelnen experimentellen Ergebnisse sich auf

verschiedene Affinitätsbegriffe bezogen. Kirwans berühmte Studien über die Bestimmung der Affinität, sowie der Menge des Phlogistons bedeuten einen Problemwechsel in dem die Frage in den Vordergrund gelangte, wann denn die verschiedenartigen Affinitäten gleich sind. Die Beantwortung dieser Frage machte das Studium der Gleichgewichtsmengen erforderlich.

Diese Untersuchung begann eigentlich auf Wirkung Bergmanns, die früheren Ergebnisse zusammenfassenden Werkes »Über die electiven Anziehungen«, das 1775 zum ersten Mal erschien [23]. Als Bergmann seine Arbeit schrieb, betrachteten die Chemiker die Affinität bereits als erfahrungsmäßigen Fakt, in der Meinung, daß die chemischen Erscheinungen die sich summierenden Wirkungen der Affinitäten seien. Bergmanns Arbeit kann gleichzeitig der Schwanengesang des Newtonschen Programms par excellence genannt werden. Bergmann zeigte deutlich, daß in absehbarer Zeit die chemische Affinität nicht mit Berechnungen zu einem der Himmelsmechanik ähnlichen Kalkül entwickelt werden kann. Es gibt keine Möglichkeit zur Schätzung der Gestalt und Größe der chemischen Teilchen, die jedoch mit Sicherheit in der Größe der Affinität eine Rolle spielen. Deshalb ist jene Vorstellung nicht realisierbar, daß man die Theorie der Chemie auf hypothetisch-deduktivem (mathematischem) Wege aufstellen wird. Der zu verfolgende Weg besteht dagegen darin, die chemische Experimentation zu genauerer Deutung der Erscheinungen der Affinität zu verwenden, und dabei das Verfahren des empirischen Vergleichens weiterzuentwickeln. Dessen Ergebnisse führten bei Bergmann zu einer gut systematisierten Tabellisierung der auf wäßrigem Wege vonstatten gehenden Säure—Base-Reaktionen. Diese Arbeit stimulierte Bergmann zur Durchführung sehr vieler Analysen und trug dazu bei, daß Bergmann sich zum bedeutendsten Analytiker seiner Zeit entwickelte.

Das mit Newtonscher Anregung noch mehr oder weniger direkt in Verbindung stehende letzte Forschungsergebnis war jene Entdeckung Berthollets, daß man die Affinitäten in komplexerer Weise in Betracht ziehen muß, als dieses der Zusammenhang  $AB + C \rightarrow AC + B$  vermittele. Berthollet wies nach, daß die chemischen Prozesse zu einem Gleichgewicht führen, daß zwischen den Affinitäten eine Verteilung im Gleichgewicht zustandekommt, und daß das Gleichgewicht selbst von der relativen Menge der Wirkstoffe abhängt. Natürlich wußte auch Bergmann — dieses war sogar vielleicht schon im Altertum bekannt —, daß die Zugabe überschüssiger Reagensmenge die Zunahme der Menge des erwünschten Produkts begünstigt. Bergmann wurde jedoch von dem Gedanken geführt, daß theoretisch allein soviel interessant sei, daß der Stoff A unter gewissen Bedingungen B aus dessen Verbindungen verdrängt. (Auf der Linie Buffons, meinte Berthollet, daß die chemische Affinität die modifizierte Erscheinung der universalen Gravitation sei. Es ist bedauerlich, daß die heutigen chemiegeschichtlichen Bücher oftmals die Betonung auf die Vermittlung dieser Tatsache legen.)

Die chemische Praxis veränderte im Laufe des Jahrhunderts den Affinitätsbegriff in hohem Maße. Dieses berührte auch die logische Struktur des Begriffes. Zur Jahrhundertwende nahm man zwar die in der »Fermentation« erscheinende Kraft als in einer Wechselwirkung zur Geltung kommende, jedoch als Parameter bestimmter Größe der einzelnen Stoffe an. Zu Ende des Jahrhunderts wurde die Affinität zu einer von den Umständen abhängenden Eigenschaft der einzelnen Stoffe. Der Begriff bedeutete derart in der Praxis nicht mehr die Eigenschaft einer Substanz, sondern eine in bestimmten Relationen gegebene Größe einer Substanz.

Die Auffassung fast jedes Chemikers dieser Epoche stimmte darin überein, daß in der wahrhaft wissenschaftlichen Chemie die Affinitätslehre einen bedeutenden Platz erhalten müsse. Gerade die auszuarbeitende Affinitätslehre würde die Chemie zur Wissenschaft machen, weil sie eine auf Prinzipien beruhende Behandlung sichern würde. Man wartete jedoch umsonst auf den »Newton der Chemie«, da die Kompliziertheit und Verborgenheit der chemischen Wechselwirkungen das Aufstellen eines entsprechenden chemischen Kalküls verhinderte. Freilich war auch das Programm selbst zu vielschichtig und enthielt voneinander relativ abweichende und trennbare Aufgaben. Die Analogie im engeren Sinne hätte die mathematische Niederschrift der Entfernungsabhängigkeit der Kraft erfordert. Die Chemiker interessierten sich dagegen bei ihrer praktischen Arbeit nicht für solche Spekulationen, hegten keine Hoffnungen auf eine allgemeine stoffstrukturelle Erklärung mit Hilfe des Kraftgesetzes. Für die Chemiker waren die sich auf einzelne Reaktionen beziehenden erfahrungsmäßigen Prognosen wichtig, und dafür bestand die Notwendigkeit des experimentellen Studiums der empirisch identifizierbaren Wirkung der Affinitäten, mit nur schwachen Hinweisen auf eine Möglichkeit der stoffstrukturellen Erklärung. Die von der naturphilosophischen Hypothese nur locker umgrenzte Differenziertheit der Untersuchungen bzw. die aus der Sicht der Affinitätslehre erfolgende Deutung der sich auch unabhängig von den Affinitätsuntersuchungen angesammelten Erfahrungen zeigte immer komplexer die Erscheinung, die Möglichkeit eines Kalküls in eine immer entferntere Zukunft verschiebend.

Auch hier begegnen wir also der Trennung der direkten theoretischen und experimentellen Möglichkeiten von der sich auf das Ziel der Wissenschaft beziehenden Überzeugung. Unverändert verkündete man die Aufstellung des Kalküls als Ziel der chemischen Wissenschaft. In dieser Beziehung stimmten die Meinungen des Mathematikers und Physikers Laplace bzw. des Chemikers Fourcroy überein [24].

Wie wir sahen, blieb das chemische Kraftkalkül für das 18. Jahrhundert ein Traum. War also diese Zielstellung nutzlos, hat sie die Forschung nur auf vermeidbare Irrwege gebracht? — Die im vergangenen Jahrhundert vorherrschende positivistische Geschichtsschreibung, die Ergebnisse ihrer Zeit

nicht in der Affinitätsforschung des 18. Jahrhunderts findend bzw. diese als frühe Versuche beurteilend, betrachtete dieses Programm im allgemeinen wirklich als einen Irrweg. Etwas ähnlichem begegnen wir in Partingtons gewaltiger Chemiegeschichte [25].

Anders dagegen bewertet Butterfield die behandelten Bemühungen, nach dessen Meinung das 18. Jahrhundert die »Epoche der nachträglichen wissenschaftlichen Revolution der Chemie« war, wobei auch die Affinitätslehre ihren Anteil hatte. Butterfield ist andererseits vielleicht einer der prägnantesten Vertreter jener Auffassung, nach der die damalige Revolution der Wissenschaft — ihr Wesen betrachtend — das Dominant Werden des mechanischen Weltbildes brachte [26].

Es erscheint einigermaßen paradox, auf welche Art und Weise die bisher beste über die Geschichte der chemischen Affinitätslehre geschriebene Arbeit zustande kam: das Buch A. Thackrays [27]. Vor ungefähr 15 Jahren begann man in der bürgerlichen Wissenschaftstheorie stark zu bezweifeln, daß die Übertragung der sich in der Mechanik herausgebildeten Methode auf neue Gebiete auch nur in irgendeinem Sinne das Wesen der Wissenschaftsrevolution gebildet hätte. Thackray versucht zu beweisen, daß ein von einer entwickelten Wissenschaft übernommenes Programm für eine weniger entwickelte steril werden kann. Zu dessen Untermauerung lassen sich viele Argumente auf-führen. Es ist geschichtlicher Fakt, daß die Versuche zur Aufstellung eines Kalküls fruchtlos geblieben sind. In mehreren Beziehungen jedoch führten sie zu bleibenden Ergebnissen. Unter diesen wurde eines bisher von den Chemiehistorikern kaum gewürdigt: die skizzierten Versuche spielten eine bedeutende Rolle in der Entwicklung der »Kultur« der wissenschaftlichen Forschung. Das in der Mechanik ausgearbeitete Programm der Bestimmung der Kräfte aus ihren Wirkungen ergab das Muster der analytischen Forschung. Dieses Programm erforderte die Herstellung reproduzierbarer Ergebnisse bzw. machte sie möglich, die Untersuchung, die Voraussetzungen der experimentellen Umstände und der mathematischen Aufarbeitung festlegend. Die Umformung dieser Verarbeitungsmethode zu einer Wissenschaftsnorm bot der Chemie die Möglichkeit, ihre Untersuchungsmethoden zu rationalisieren. (In diese Richtung wirkte auch Boyles mechanistisches Naturbild.)

Einige werden von der Möglichkeit verführt, die Newtonschen Kraftvorstellungen nur als von der Kraftmechanik universell gewordenes Programm zu deuten. Gleichzeitig muß man die Mechanik — so scheint es — als Vermittler der analytischen, mathematischen, experimentellen Methode betrachten. Es scheint, daß die Einstellung dazu selbst fehlerhaft ist. Im Falle Newtons ist nicht in erster Linie von der Kopie der Mechanik die Rede, sondern von einem umfassenderen naturphilosophischen Programm, welches aus dem Bedürfnis der Überwindung der scholastischen Wissenschaft geboren wurde. Nach diesem Programm muß die Wissenschaft die die Erscheinungen zustande-

bringenden, mathematisch beschreibbaren, gesetzmäßigen Mechanismen aufdecken und klären. Diesen neuen Wissenschaftsbegriff konnte man allein mit der Anwendung irgendeines Modells verwirklichen. Die Boyleschen sowie die Spekulationen der Newtonianer bedeuteten die Überwindung der Scholastik bzw. der mystischen Vorstellungen der alten chemischen Meister. Das Ideal der neuen, auf der Basis der Naturgesetze beruhenden, erklärend-prediktiven Naturwissenschaft konnte man allein so akzeptieren, wenn man versucht, die in der Mechanik erreichten Ergebnisse zu übertragen. Solche Versuche führten auf dem gegebenen Niveau des Naturbildes notwendigerweise zu sterilen Spekulationen. Wie es jedoch falsch wäre, Boyles in seinem Werk »Der zweifelnde Chemiker« formulierte Beurteilung der früheren chemischen Begriffe von seinen stoffstrukturellen Spekulationen zu trennen, sind sie doch einen Ursprungs, ja boten doch die Spekulationen — zumindest aus psychologischer Sicht — der Kritik Unterstützung, offensichtlich werden lassend, daß rivalisierende Lösungen gegenüber dem kritisierten Begriffsapparat vorstellbar sind; genauso wäre es unsinnig, das Programm der chemischen Dynamik des 18. Jahrhunderts allein auf Grund der Spekulationen Keills oder Freinds zu beurteilen. Das Newtonsche Programm führte in grundlegenden Beziehungen zu einem positiven Ergebnis. Das Programm stimulierte, rationalisierte und definierte in vielen Beziehungen gut eine gewisse Richtlinie der experimentellen Forschung. Das Programm systematisierte die Versuchsergebnisse, und als seine Folge kann all jenes Wissen betrachtet werden, welches in der Bergmannschen Tabelle zusammengefaßt ist, weiterhin aus mehreren Blickwinkeln auch das, daß man gewisse spezielle Eigenschaften der chemischen Reaktionen erkennen konnte. Letztlich sind der von diesem Programm ausgehenden systematischen Forschung auch die Zahlenangaben Sauer-Basis-Gleichgewichte zu verdanken, welche vielleicht die grundlegendsten erfahrungsmäßigen Ergebnisse für die folgende Epoche waren (obzwar sie nichtbeabsichtigte Ergebnisse dieser Forschung waren). All dieses in Betracht ziehend, erscheint die Konklusion Thackrays als zweifelhaft, nachdem das untersuchte Beispiel darauf hinweise, daß eine sich in einer entwickelten Wissenschaft bewährte Methode in einer anderen steril werden kann.

Ein weiteres Argument in der Hinsicht, daß die Chemie nicht das Modell der Mechanik nutzen konnte, wäre das, daß die Mechanik ein mit dem Spezifikum des Gegenstandes der Chemie nicht adäquates, reduktives Programm bot. Wir sahen bereits, in welchen Beziehungen dieses Argument richtig ist. Auf alle Fälle machte es jener Fakt, daß Newton in der Fermentation eine spezielle Kraftwirkung annahm, möglich, daß diese Forschungen sich selbstständigen konnten. Nicht zu bezweifeln ist dagegen, daß das Newtonsche Bild als Ganzes, welches auf den endgültig kleinen Atomen der Materie beruht, und der Chemie nur einen Platz auf einem mittleren Niveau einräumte, die Herauskristallisierung des Begriffes des chemischen Elements behinderte.

Das Programm des 18. Jahrhunderts der chemischen Dynamik spielte unserer Anschauung nach keine sterile, sondern eine widersprüchliche Rolle in der Emanzipierung der chemischen Forschungen zu einer Wissenschaft.

### Zusammenfassung

Die chemiegeschichtliche Literatur hält im allgemeinen die Wirkung der Newtonschen Naturphilosophie auf die Chemie, seine Spekulationen und Experimente bezüglich der »chemischen Affinität« für bedeutungslos, weil diese zu keinen festen Ergebnissen führten. Man betrachtet diese seine Untersuchungsrichtungen oft als eine Sackgasse. Es wurde hier versucht, darauf aufmerksam zu machen, daß viele von seinen Ergebnissen, obwohl um interpretiert, doch für die spätere Chemie trotzdem höchst bedeutend waren, denn diese Art der Untersuchungen vermittelte wichtige Komponenten der wissenschaftlichen Methode für die Chemie des 18. Jahrhunderts.

### Literatur und Bemerkungen

1. NEWTON, I.: *Optica*, London 1706. Als 31. »Frage« siehe in der londoner Ausgabe von Jahr 1717.
2. NEWTON, I.: *Optics or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, London, 1704.
3. id. loc. cit., Neuauflage der vierten (1730) Ausgabe, N. Y., 1952, S. 375, 394, 395, 401.
4. Newton versuchte, eine Art Synthese der Religion und Naturwissenschaft zu geben. Seine religiösen Vorstellungen bis zur positiven Wirkung beeinflussten seine naturwissenschaftlichen Vorstellungen, die nicht eindeutig von den ersteren zu scheiden sind. Andere Meinung siehe z. B. bei P. S. Kudrjanzew: *Geschichte der Physik*, auf ungarisch, Bp., 1951, Akademie Verlag.
5. *Optics*, S. 388.
6. *Optics*, S. 382—383. Dieser Text zeigt viel Verwandtschaft mit einem Teil des berühmten zu Boyle geschriebenen Briefes.
7. *Journal de Trévoux*, 1709. Zitiert von A. Thackray: *Atoms and Powers*. Harvard, Cambridge—Massachusetts, 1970, S. 86.
8. NEWTON, I.: *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, Cambridge, 1934, LXXXV. These, XIII. Theorem.
9. Eine gute Zusammenfassung seiner Ansichten siehe: J. R. Partington: *A History of Chemistry*, II, Macmillan, London, 1961, S. 478.
10. FREIND, J.: *Chymical Lectures in which Almost all the Operations of Chemistry are Reduced to Their Principles and the Laws of Nature*, London, 1712.
11. GEOFFROY, E. F.: *Table des différents rapports . . .*, Mém. de l'Académie des Sciences, 1719, S. 202—212.
12. KEILL, J.: *An Account of Animal Secretion*, London, 1708.
13. FONTENELLE, B.: *Sur les rapports . . .* Hist. de l'Académie des Sciences 1719, S. 36.
14. Die Zusammenfassung Cullens Vorstellungen siehe: Thackray, S. 224—227. Hales Vorstellungen in *Vegetable Staticks*, London, 1727.
15. *Encyclopedie*, III, Paris. »Chimie«.
16. GALILEI, G.: *Dialogo*. 1623. »Was mich betrifft, wenn ich die Formveränderungen der Körper sehe, ich halte es nicht für unwahrscheinlich, daß eine Veränderung der Lage der Teile des Körpers zustande kam, ohne, daß etwas vernichtet oder geboren wäre.«
17. MAUPERTUIS, P. L. M.: *Sur les Lois de l'attraction*, Mém. Ac. Sci. 1753, S. 343—362.
18. BUFFON, G. L. L.: *Réflexions sur les lois de l'attraction*, Mém. Ac. Sci. 1749, S. 493—500.
19. BOSCOVICH, R. J.: *A Theory of Natural Philosophy* (Neuauflage der englischen Übersetzung der venezianer Ausgabe), London, 1966.
20. Die Zusammenfassung dieser Fragen siehe: Thackeray, S. 210—214.
21. WENZEL, C. FR.: *Lehre von der Verwandtschaft der Körper*. Dresden, 1777. Wenzels Ansichten in Zusammenfassung bei Thackeray bzw. Partington.
22. KIRWAN, R.: *Philosophical Transactions*. 1781. S. 7, 1782. S. 179, 1783. S. 15.

23. BERGMANN, T.: *Opuscula Physica et Chemica*, Uppsala. 1780. III.
24. LAPLACE, P. S.: *Exposition du Système du Monde*, zweite Auflage. Paris. 1799—1800.  
S. 287. Anderswo spricht Laplace davon, daß die Untersuchung der Affinitäten vergeblich war. A. F. Fourcroy: *Principes de Chimie*. Paris. 1787.
25. PARTINGTON, J. R.: Das Kapitel, in dem Newton behandelt wird, Fußnote 9.
26. BUTTERFIELD, H.: *The Origins of Modern Science*, Bell. London. 1950.
27. Siehe Amm. 7.

Dr. Imre HRONSKY, H-1521 Budapest