

Die Rolle des Experiments in der Chemie

Joachim Schummer

1. Einleitung: Die Rückseite des quantenmechanischen Meßproblems

Seit mehr als sechzig Jahren diskutieren Wissenschaftstheoretiker und Physiker in einer engagierten und phantasievollen Debatte das sog. „quantenmechanische Meßproblem“.¹ Während bis heute einerseits noch über den subjektiven oder objektiven Status der quantenmechanischen Wahrscheinlichkeiten gestritten wird, so herrscht doch andererseits weitgehende Einigkeit darüber, daß der quantenmechanische Meßprozeß irgendwie in das zu messende mikroskopische Geschehen eingreift. Das empiristische Erkenntnisideal der passiven oder rezeptiven Wahrnehmung, der störungsfreien Beobachtung scheint hier im Bereich des Mikroskopischen auf prinzipielle Grenzen gestoßen zu sein. „Die Naturwissenschaft“, so formuliert Heisenberg (1955: 21), „steht nicht mehr als Beschauer vor der Natur, sondern erkennt sich selbst als Teil dieses Wechselspiels zwischen Mensch und Natur. [...] [Weil] der Zugriff der Methode ihren Gegenstand verändert und umgestaltet [...]“, folgert er:

„Das naturwissenschaftliche Weltbild hört damit auf, ein eigentlich naturwissenschaftliches zu sein.“

Wer das Neue einer Wissenschaft herausheben will, der muß es gegen das Alte abgrenzen. Das Alte – also die klassische Naturwissenschaft vor der Quantenmechanik – stand nach Heisenberg „als Beschauer vor der Natur“. Aus der passivistischen Zurückhaltung ihrer Methode, die weder „verändert“ noch „gestaltet“, sei die naturwissenschaftliche Weltbildfunktion begründet worden. Diese Methode, die nach einhelliger Meinung zur neuzeitlichen Revolution der Naturwissenschaften geführt hat, wird allgemein die experimentelle Methode genannt. Ist das klassische Experiment also, wie Heisenberg meint, eine Form des „Beschauens“, die den „beschaulichen“ Naturgegenstand ohne „Wechselspiel zwischen Mensch und Natur“ weder „verändert“ noch „gestaltet“, sondern nur beobachtet? Lernen wir denn nicht schon im Chemieunterricht, daß es „stinkt und knallt“, wenn wir ein chemisches Experiment durchführen? Und würden wir nicht jedem - auch einem Nobelpreisträger für Physik - bescheinigen, daß er für die experimentelle Naturwissenschaft Chemie nicht das geringste Verständnis, nicht mal einen gesunden Menschenverstand mitbringt, wenn er nach dem Knall - also nach dem chemischen Experiment - einen unveränderten Gegenstand erwartet? Vielleicht ist Heisenbergs Formulierung aber nur ein rhetorischer Schachzug, um die Bedeutung einer wissenschaftlichen Entwicklung herauszuheben, an der er selbst maßgeblich beteiligt war. Dann sollte uns wohl die Philosophie - und hier insbesondere die Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie - zur Klärung dieser Ungereimtheiten verhelfen. Werfen wir also einen Blick auf die Philosophiegeschichte und untersuchen, was die Philosophen zum Experimentbegriff zu sagen hatten.

2. Philosophiehistorische Betrachtungen zum Experimentbegriff

2.1 Von der Entdeckung und Verdrängung der experimentellen Methode

Zunächst ist bemerkenswert, daß unsere Ausdrücke „Experiment“ und „Empirie“ etymologisch den gleichen Ursprung im griechischen Wort *peira* (Versuch, Probe) besitzen. Das griechische *empeiria* bedeutete eine Erfahrung auf der Grundlage eines Probierens, Abtastens,

¹ Einen leichtverständlichen Überblick über die Debatte gibt z.B. N. Herbert (1987: 190 ff).

eines interaktiven Sich-Be-Fassens mit einer Sache (Schadewaldt 1978: 169 f.). Bis in die Neuzeit wurden die abgeleiteten lateinischen Ausdrücke *experimentum* und *experientia* auch weitgehend gleichbedeutend verwendet: Zunächst noch im Sinne des Aristotelischen Begriffs der Erfahrung als einer auf der wahrnehmungsverknüpfenden Leistung des Gedächtnis beruhenden (niedereren) Wissensform;² später aber zunehmend im Rahmen einer Theorie der Erfahrung als eigener Erkenntnisquelle, die man gegen argumentativ und autoritär gestütztes Wissen zu behaupten suchte.³ Bei Roger Bacon erhält bereits die *scientia experimentalis* aufgrund ihrer methodischen Selbständigkeit einen übergeordneten Stellenwert im Kanon seiner sieben naturwissenschaftlichen Disziplinen. Hier finden wir auch die erste ausführliche Auseinandersetzung über Instrumente und Vorrichtung zur Erfahrungsgewinnung, die für unseren modernen Experimentbegriff prägend sind, obwohl sie bei Bacon weitgehend dem alchemistischen und medizinischen Bereich entstammen (*Opus Majus*, VI).

Zum eigentlichen „Vater der experimentellen Philosophie“ wurde in der Philosophiegeschichte aber erst sein Namensvetter Francis Bacon gekürt, während man dessen Zeitgenossen Galilei und Toricelli als die ersten modernen Experimentatoren feiert (Kuhlen und Schneider 1972). Francis Bacons methodologischer Ansatz einer „Großen Erneuerung der Wissenschaften“ ist eine scharfe Attacke gegen den traditionellen scholastischen Wissenschaftsbegriff. Im Zentrum seiner Wissenschaftsphilosophie steht in der Tat ein neuer Erfahrungsbegriff, der die planmäßige Auswahl, die gezielte Suche nach äußeren Erfahrungsbedingungen gegenüber der bloß „zufälligen“ Erfahrung akzentuiert (Bacon 1990: I, 82). Das Experiment gilt ihm als sicherstes Beweismittel (*demonstratio*) der Erkenntnis; aber es gewinnt seine wissenschaftliche Bedeutung erst als *experientia quaesita* im zielgeleiteten methodologischen Rahmen. Bacons methodologisches Programm ist weder rein induktiv (im Sinne der späteren Wissenschaftstheorie), noch geht es ihm überhaupt um das rechtfertigungslogische Verhältnis zwischen singulären und allgemeinen Sätzen, worauf man ihn später gerne beschränkt wissen wollte. Vielmehr entwirft er eine dialektische Forschungstechnik, nach der aus allgemeinen Einsichten Experimente geplant werden, deren Interpretation wiederum allgemeine Einsichten höherer Ebene zur Planung neuer Experimente inspirieren sollen usw.⁴

Gegen das kontemplative Erkenntnisideal setzt Bacon einen Primat der Praxis (ebd., 33):

„Man soll sie [die Wissenschaft, J.S.] nicht des Geistes wegen erstreben [...], sondern zur Wohltat und zum Nutzen für das Leben“

Die praktische Relevanz der wissenschaftlichen Erkenntnis ist nicht nur ein Lippenbekenntnis, sondern sie ist als Forschungsprogramm bis hin zu seiner Sozialutopie in *Nova Atlantis* ausgearbeitet. Wichtiger für den vorliegenden Zusammenhang ist jedoch seine erkenntnistheoretische Verankerung. Insofern sich die experimentelle Erfahrung auf eine planmäßige Auswahl und Gestaltung äußerer Erfahrungsbedingungen stützt, liefert sie ein Kausalwissen im neuen Sinne. Sind nämlich die Bedingungen im systematischen Vorgehen als notwendig für die jeweilige Erfahrung ausgewiesen, dann ist dadurch eine Ursache erkannt, die zugleich in einer Handlungsregel für praktische Bewirkungen – für Werke (*opera*), wie Bacon sich ausdrückt – gefaßt werden kann. Kausalwissen und handlungspraktisches Wissen fallen hier also

² So z.B. noch Thomas von Aquin (*Summa Theologica*, I, 58, 3).

³ Vorläufer dieser sog. „Experimentellen Philosophie“ sind bereits im 13. und 14. Jahrhundert Grosseteste, Petrus Peregrinus, Roger Bacon, Albertus Magnus, Ockham, Buridan, Oresme u.a.; vgl. Crombie 1953 und Böhme et al. 1977.

⁴ Vgl. W. Krohns Einleitung zu Bacons *Neues Organon* (Bacon 1990: XXVII).

in dem experimentellen Erfahrungsbegriff von Bacon zu ersten Mal zusammen.⁵ Daher kann Bacon in seinem dialektischen Forschungsprogramm das Streben nach allgemeinen „lichtbringenden“ Einsichten in den Dienst einer Wissenschaft stellen, die dem methodologischen Ziel lebenspraktischer, „fruchtbringender“ Erkenntnis verpflichtet ist.

Der herstellungspraktische, aktiv gestaltende Aspekt des Baconschen Erfahrungsbegriff ist dann in Rahmen der mechanischen Philosophie mitsamt seiner technisch-praktischen und sozialreformerischen Implikationen wieder getilgt worden.⁶ Die Unterscheidung von Locke (1975) zwischen äußerer und innerer Erfahrung (*sensation* und *reflection*) als einzige Quellen der Erkenntnis läßt keinen Raum mehr für Bacons Begriff der experimentellen Erfahrung. Äußere Erfahrung wird im korpuskularmetaphysischen Bilde der mechanischen Philosophie auf die quasi-kausale Erzeugung der Wahrnehmungsqualitäten reduziert. Die Korpuskeln wirken nach Locke mechanisch auf die Sinne ein, welche dem Geist wiederum nach der Art der Einwirkung verschiedene Ideen zuführen. Der sog. Empirismus nimmt also bemerkenswerterweise eine radikale Neubestimmung des Erfahrungsbegriffs vor, indem er die aktiv-gestaltenden, intentionalen Momente ausblendet, die in der griechischen *empeiria* noch gegenwärtig waren und die durch Bacon präzisiert und in einen methodologischen Rahmen gesetzt wurden.

Der erkenntnistheoretische Streit um die Rolle der Experimentalphilosophie im Verhältnis zur „Vernunftphilosophie“ nimmt in der Folgezeit einen für die vorliegende Betrachtung unbedeutenden Verlauf ein, weil er nicht die methodologische Rolle des Experiments – geschweige denn eine Theorie des Experiments –, sondern die erkenntnistheoretische Bedeutung der sinnlichen Wahrnehmung betrifft. Der naiv-realistische, rezeptive Erfahrungsbegriff Lockes wurde in einen phänomenalistischen, positivistischen und sinnesatomistischen Rückzug getrieben, aus dem sich in linguistischer Erneuerung schließlich auch der logische Empirismus und Neo-Positivismus dieses Jahrhunderts entwickelten. Demgegenüber erstarkt die rationalistische Betonung der konstruktiven Momente von Verstand und Vernunft für die Erkenntnisgewinnung in der Linie Descartes, Leibniz, Kant und Fichte. Kant verweist zwar in seiner Vorrede zur Kritik der reinen Vernunft in huldiger Weise auf Bacon und die experimentelle Methode in der Physik; und er fordert auch, die Vernunft müsse in der Weise „eines bestellten Richters, der die Zeugen nötigt, auf die Fragen zu antworten, die er ihnen vorlegt“ an die Natur herangehen (Kant 1787: B XIII). Aber dies ist lediglich als metaphorische Übertragung zu verstehen. Denn im Kantschen Erkenntnismodell kann die experimentelle Erfahrung im Sinne Bacons überhaupt nicht zum Thema werden, weil alle Tätigkeit erst in der intellektuellen Sphäre am rezeptiv gewonnenen Anschauungsmaterial ansetzt. So kommt es, daß Kant eine metaphorische Übertragung der experimentellen Methode vornimmt und von „Experimenten der reinen Vernunft“ redet (ebd., B XVIII ff.), ohne daß er sie selbst in seinem eigenen Erkenntnismodell spezifiziert, integriert oder auch nur thematisiert.

Diese Usurpation des Experimentbegriff wird im deutschen Idealismus zur Modeerscheinung: Novalis sieht die Geschichte der Philosophie als „Experimentalversuche“, Schlegel nennt die Methode des Idealismus ein „combinatorisches Experimentieren“, in Analogieübertragung redet man von „Experimentalreligionslehre“ (Novalis), „Experimental-Politik“

⁵ Bacon 1990: I, 3. Das ist erst kürzlich wiederentdeckt und im Sinne eines interventionalistischen oder experimentalistischen Kausalitätsbegriffs gegen die Hume-Tradition ausgebaut worden; vgl. Collingwood 1949, Gasking 1955, von Wright 1979 und Tetens 1987: 17 ff.

⁶ Die politische Unterdrückung der „Baconischen Bewegung“ in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts, in deren Rahmen sich übrigens auch eine theologisch-mystisch orientierte chemische Philosophie entwickelt hatte, und ihren Einfluß auf die Institutionalisierung einer „positivistischen Wissenschaft“ unter der Vorherrschaft der mechanischen Philosophie wird untersucht von W. van den Daele (van den Daele 1977); vgl. auch Kuhn 1977: 84-124.

(Lichtenberg) und „Experimental-Metaphysik“ (Schopenhauer).⁷ Zwar verweist man in diesem Zusammenhang gerne auf die „Erfolge“ der experimentellen Naturwissenschaften. Es wird aber peinlichst vermieden, eine Theorie der experimentellen Methode der Naturwissenschaften zu entwickeln, geschweige denn, eine solche im eigenen erkenntnistheoretischen Ansatz zu berücksichtigen.

2.2 Der Experimentbegriff in der modernen Wissenschaftstheorie

Fragen wir nach dem Experimentbegriff der modernen analytischen Wissenschaftstheorie, also jener philosophischen Disziplin, die sich explizit der Untersuchung der wissenschaftlichen Methode und implizit in erster Linie der Physik verschrieben hat, dann finden wir nur allzu Dürftiges. Der traditionelle Empirismus hatte immerhin noch die sinnliche Wahrnehmung thematisiert. Nun finden wir nach dem „*linguistic turn*“ im Logischen Empirismus lediglich eine Diskussion der induktiven Bestätigungs- bzw. deduktiven Widerlegungsmöglichkeiten von Theorien durch sog. „Basis-“ oder „Protokollsätze“, die man als sprachliche Artikulation von experimentellen Ergebnissen mit relativ unproblematischem Wahrheitswert betrachtet (Mayer 1980). Dabei handelt es sich (zur Erinnerung) um Sätze wie „Hier, jetzt, rot“, aus denen das logische Satzgebäude der Wissenschaft rekonstruiert werden soll. An Sätzen wie „x ist wasserlöslich“, die Dispositionsprädikate enthalten, wie sie zur Beschreibung experimenteller Ergebnisse unumgänglich sind, war bereits Carnap kläglich gescheitert; sie wurden fortan zu den theoretischen Sätzen der Wissenschaft gerechnet.⁸

Statt dessen hat man dann mit sensualistischer Naivität Alltagsbeobachtung und wissenschaftliches Experiment gleichgesetzt, und die induktions- und deduktionslogischen Probleme an Sätzen wie „Alle Schwäne sind weiß“ und „x ist ein schwarzer/weißer Schwan“ abzuhandeln versucht. Verifikationisten wie Falsifikationisten vergaßen dabei schlichtweg, daß zur experimentellen Überprüfung von physikalischen Theorien nicht nur ein „Protokoll-“ oder „Basissatz“ ausreicht, sondern daß hierzu in der Physik mindestens auch komplexe Theorien der Meßinstrumente und ihrer Funktionen, Bedienungsregeln und Störungsmöglichkeiten, der experimentellen Bedingungen und der Meßgegenstandsauswahl und -aufbereitung herangezogen werden. Allein zwei wissenschaftstheoretische Ansätze haben mit der aktiven Rolle der experimentellen Erkenntnis ernst gemacht: die Operationalismen von Percy W. Bridgman und von Hugo Dingler. Der amerikanische Experimentalphysiker und Physikochemiker Bridgman versuchte mit einer positivistisch orientierten operationale Bedeutungstheorie, die Bedeutung aller sinnvollen physikalischen Ausdrücke an experimentelle Operationen zu knüpfen (Bridgman 1927: 5):

„Wir meinen im allgemeinen mit irgendeinem Begriff nichts anderes als eine Klasse von Operationen; der Begriff ist synonym mit der korrespondierenden Klasse der Operationen.“

Bridgmans „Ontologie der Operationen“ war ein radikaler Affront gegen jede Bedeutungstheorie, welche die Bedeutung von Termen in den bezeichneten Gegenständen sucht, aber auch gegen jede sensualistische und insbesondere abbild-realistische Interpretation der wissenschaftlichen Erkenntnis. In geradezu panischer Angst vor einem drohenden „Subjektivismus“ kamen die schärfsten Angriffe gegen Bridgman von empiristischen Wissenschaftsrealisten:

„Praktisch ist Experimentieren in der Wissenschaft ebenso unerlässlich, wie wir handeln müssen, um zu überleben“, konstatierte Gustav Bergmann (1972: 111) aus empi-

⁷ Vgl. Kuhlen und Schneider 1972. Wenn wir heute von „experimenteller Musik, Malerei, Literatur“, von „experimentellem Theater“ etc. reden, dann ist auch dies wieder eine modische metaphorische Übertragung, die hier lediglich das Konventionen sprengende, das Neue und Gewagte der Kunst zum Ausdruck bringen soll.

⁸ Der klassische Aufsatz hierzu ist Carnap 1953.

ristischer Perspektive. „Im Prinzip jedoch [...] könnten wir uns entschließen, Zuschauer zu bleiben und zu warten, bis die Situationen, die wir so scharfsinnig ersinnen, zufällig, wie man zu sagen pflegt, eintreten – vorausgesetzt nur, daß wir lange genug leben und geduldig genug sind.“

Während Bridgmans Position ohne Frage in vielerlei Hinsicht kritisierbar ist, so ist ihr doch insbesondere zu verdanken, daß sie das empiristische Credo für eine (in Deweys Worten) „Zuschauertheorie der Erkenntnis“ provozierte.⁹ Nimmt man Bergmann ernst – und ich meine, daß er die Überzeugung des überwiegenden Teils der älteren Wissenschaftstheoretiker zum Ausdruck bringt – dann spielt seiner Meinung nach die Kontrolle experimenteller Bedingungen, die Wahl und Konstruktion von hochtechnisierten Instrumenten, die experimentellen Handlungen zur Vorbereitung und gezielten Veränderung von Untersuchungsgegenständen etc. weder eine Rolle für die Begriffsbildung noch für die erkenntnistheoretische Geltungsfrage, geschweige denn für methodologische Probleme oder Fragen der Zweckbestimmung der Wissenschaft. Kann man wirklich erwarten, daß mit Hilfe des Zuschauermodells irgendeine relevante Einsicht über die experimentellen Naturwissenschaften zu gewinnen ist? Hier scheint die Angst vor einer „subjektivistischen Verunreinigung des naturwissenschaftlichen Weltbildes“, wie wir es einleitend in Heisenbergs Beschreibung der klassischen Physik fanden, mit aller Verbissenheit eine Theorie der experimentellen Erkenntnis zu unterbinden, die mehr als eine Theorie der visuellen Wahrnehmung ist. Der naturwissenschaftliche Weltbildcharakter im Sinne Heisenbergs gründet also wesentlich auf einer chronischen Verdrängung der Möglichkeitsbedingungen naturwissenschaftlicher Erkenntnis, d.h. hier: der Experimentierbedingungen experimenteller Erkenntnis.

Fast zeitgleich mit Bridgmans Operationalismus, der seine Wurzeln im amerikanischen Pragmatismus besitzt, entwickelte Hugo Dingler einen an der Kantschen Position orientierten Operationalismus mit einem unmodern anmutenden, pathetisch erhobenen Letztbegründungsanspruch für die klassische Physik und Geometrie. Im vorliegenden Zusammenhang ist dabei lediglich seine Theorie des Experiments von Bedeutung, die er nicht ganz ohne Recht als die erste diesbezügliche Theorie bezeichnet, obgleich sie auf das mechanische Meßexperiment beschränkt ist.¹⁰ Tatsächlich geht es Dingler nicht um eine allgemeine Theorie des Experiments, sondern um eine Begründung der Euklidischen Geometrie und Newtonschen Mechanik aus den experimentellen und instrumentellen Bedingungen unter der normativen Forderung eindeutiger und reproduzierbarer Meßbarkeit. Unter dieser normativen Maxime, die er letztlich voluntaristisch in einem „vortheoretischen Willen“ zu begründen versucht, entwickelt er methodisch aufbauend Definitionen der geometrischen und mechanischen Grundbegriffe. Schließlich versucht er nachzuweisen, daß seine Definitionen auch stets bewußt oder unbewußt als apriorische Handlungsmaximen bereits bei der Herstellung physikalischer Meßapparate zur Anwendung gelangen. Die Gesetze der Euklidischen Geometrie und der Newtonschen Mechanik seien daher nicht Resultate induktiver Verallgemeinerung physikalischer Meßergebnisse. Sondern sie zeichnen sich vor allen anderen nicht-klassischen Theorien dadurch aus, daß sie immer schon mit der Herstellung der Experimentiergeräte vorausgesetzt werden müssen und daher für eine experimentelle Physik apriorische Geltung besitzen.

Dinglers Ansatz ist ohne Zweifel das Originellste, was wir in der Philosophiegeschichte nach Bacon zum Experimentbegriff finden. Seine gezielte Reflexion auf den Herstellungs- und Zweckcharakter der Experimentierbedingungen demonstriert gerade die außerordentliche wissenschaftstheoretische Bedeutung eines Bereichs, dessen Betrachtung die traditionelle Philosophie sträflich versäumt hat. In seiner einseitigen Ausrichtung auf die Begründungsfrage der klassischen Theorien, welche die Zeitgenossen Dinglers angesichts der neuen nicht-

⁹ Dewey 1957; vgl. hierzu auch die scharfsinnigen Analysen von I. Hacking (1983).

¹⁰ Im folgenden beziehe ich mich hauptsächlich auf Dingler 1928.

klassischen Theorien von Riemann, Einstein, Bohr u.a. bewegt hat, läßt er allerdings eine allgemeine Theorie des Experiments vermissen, die insbesondere das chemische Experiment berücksichtigt. Da Dingler jedoch in seinem wissenschaftstheoretischen Ansatz ein programmatisches Vermächtnis der konstruktiven Wissenschaftsbegründung hinterlassen hat, steht zu hoffen, daß seine geistigen Enkel und Urenkel auch in bezug auf das chemische Experiment Konstruktives zutage fördern werden.

Ich möchte nicht verschweigen, daß in der gegenwärtigen angelsächsischen Wissenschaftstheorie die methodologische und die wissenschaftshistorische Untersuchung des Experiments geradezu einen Boom erleben.¹¹ Ausschlaggebend für diese Neubesinnung sind wohl in erster Linie das wissenschaftssoziologische Interesse am Laboralltag der Forscher, eine Wiederbelebung des amerikanischen Pragmatismus sowie insbesondere die festgefahrene Realismusproblematik der analytischen Philosophie, für die man sich insbesondere aus der Hochenergiephysik neue Impulse erhofft. Da hierbei jedoch wieder einmal fast ausschließlich das physikalische Experiment (mit Vorliebe für Elementarteilchennachweise) auf Kosten des chemischen Experiments zur Sprache gelangt, möchte ich mich der Kürze halber auf diesen Hinweis beschränken.

2.3 Schlußfolgerungen

Meine Analyse des Experimentbegriffs in der Philosophiegeschichte war gewissermaßen am philosophiehistorischen Mainstream der Erkenntnis- und Wissenschaftsphilosophie orientiert, wie sie sich auch in einschlägigen Handbüchern zur Philosophie- und Begriffsgeschichte widerspiegelt. Mit Ausnahme von Bacon und dem Operationalismus scheint es keine nennenswerte Auseinandersetzungen mit der experimentellen Methode der Naturwissenschaften gegeben zu haben. Während die empiristische Tradition die experimentelle Erfahrung bis zum Sinnesatomismus aushöhlte, verlagerte die rationalistische Tradition jede Erkenntnisaktivität in die intellektuale Sphäre. Eine historiographisch-kritische Betrachtung zeigt indessen, daß der Blick hier euro- und physikozentrisch verengt ist. Sowohl die weitreichende arabische Tradition der experimentellen Naturforschung in Physik, Chemie und Pharmazie und ihr Einfluß auf das lateinische Mittelalter (vgl. z.B. Hunke 1965), als auch die kaum zu verleugnende alchemistische und chemische Experimentiertradition haben in der philosophiehistorischen Reflexion praktisch keinen Niederschlag gefunden. Bemerkenswerterweise ist aber gerade die frühe Experimentalphilosophie um Roger Bacon hauptsächlich durch die arabische Alchemie beeinflusst, und das gilt in weiteren Sinne auch noch für Francis Bacon. Statt dessen führt man gebetsmühlenartig Galilei als den ersten Experimentator an, als wäre die experimentelle Methode mit Raum-Zeit-Messungen gleichzusetzen und als hätte nicht gerade Galilei „ausdrücklich vor einer Überschätzung des Experimentes [ge]warnt“ (Dingler 1928: 329), weil er sich stets in Konflikt mit den experimentellen „Real“-Bedingungen wußte.

Eine allgemeine erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Theorie des naturwissenschaftlichen Experiments fehlt bis heute; eher noch findet man umfangreiche Literatur zur experimentellen Methode in den methodisch-kritisch offeneren Sozialwissenschaften. Philosophische Begriffswörterbücher liefern immerhin eine Reihe von Gemeinplätzen, die sich allerdings insgesamt keiner traditionellen Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie einfügen lassen. Man spricht von gezielter Beobachtung, aktiver und reproduzierbarer Gestaltung und systematischer Variation der Beobachtungsbedingungen, metaphorisch von einer „Frage an die Natur“, manchmal von der „Wahrheitsinstanz“ der modernen Naturwissenschaften, dem sog.

¹¹ Aufgrund der Fülle der neueren Literatur kann hier lediglich eine knappe Auswahl angegeben werden: Hacking 1983, Cartwright 1983, Harré, 1984, 1986, Franklin 1986, Gooding 1990 und Turner 1990. Eine Aufsatzsammlung mit umfangreicher Bibliographie liefern Gooding et al. 1989.

„*experimentum crucis*“ und der induktions- und deduktionslogischen Problematik, von Kausalzusammenhängen, seltener von „aktiven, verändernden Eingriff in die Wirklichkeit“¹² öfter allerdings von dem sog. „quantenmechanischen Meßproblem“. Das chemische Experiment findet allenfalls insofern Erwähnung, als weitsichtigere Autoren eine Abgrenzung der quantitativen Meßexperimente von qualitativen Experimenten andeuten wollen. Ich möchte nicht behaupten, daß hier unzutreffende Aspekte aufgeführt werden. Aber es sind eben nur Aspekte, die erstens in erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Ansätzen kaum ernsthafte Beachtung finden. Zweitens wird in der Regel der aktiv gestaltende und hochtechnisierte Laborcharakter der naturwissenschaftlichen Experimente auf eine „kontrollierte Naturbeobachtung“ hingebogen; dahinter lassen sich Rettungsversuche des „naturwissenschaftlichen Weltbildcharakter“ im Heisenbergschen Sinne vermuten. Und drittens kreisen diese Aspekte hauptsächlich um das physikalische Meßexperiment, während das chemische Experiment völlig unthematisiert bleibt. Heisenbergs einleitend erwähnte Ungereimtheiten finden also eine Entschuldigung: Sie besitzen nämlich in dem Mist der philosophischen Tradition einen überaus fruchtbaren Nährboden.

Im folgenden möchte ich nun gerade das chemische Experiment ins philosophische Bewußtsein bringen. Weil wir erst am Anfang einer „Philosophie der Chemie“ stehen, wird sich dabei nicht sogleich eine vollständige Theorie entwickeln lassen. Vielmehr möchte ich versuchen, eine Reihe von bisher unthematisierten erkenntnistheoretischen und methodologischen Besonderheiten des *chemischen Experiments* herauszuarbeiten, welche die experimentelle Methode in ein neues Licht stellen werden.

3. Die Rolle des Experiments in der Chemie

3.1 Die experimentellen Grundlagen der stofflichen Begriffsbildung

Die verbreitete Definition der Chemie als die Wissenschaft von den Stoffen, stofflichen Eigenschaften und Umwandlungsmöglichkeiten provoziert sofort den philosophischen Geist zu der Frage, was denn eigentlich ein Stoff sei. Ist meine Hose in diesem Sinne ein Stoff und somit Gegenstand der Chemie? Wenn ich einen Chemiker für meine Hose begeistern könnte, dann würde er sie vielleicht in sein Labor entführen und ich bekäme sie später zurück mit den Worten: „Es ist reine Baumwolle, eine komplizierte Kohlenwasserstoffverbindung, gefärbt mit Indigo.“ Wenn ich Pech habe, dann wird sie nicht nur an versteckten Stellen kleine Löcher aufweisen, und ich kann meine gefärbte Kohlenwasserstoffverbindung in die Altkleidersammlung geben. Unser Chemiker hat dann offensichtlich wenig Respekt vor dem Kleidungsstück gehabt und hat die Hosenform durch lauter Löcher entstellt. Für ihn ist der Hosenrest nach wie vor eine Kohlenwasserstoffverbindung, obwohl mein Hosenstoff zerschnitten ist und sogar Stücke fehlen, so daß die Funktion als Kleidungsstück enorme Einbußen erlitten hat. Der Chemiker interessiert sich (als Chemiker) für meine Hose nur in ganz bestimmter Hinsicht, die gerade von der Bekleidungsfunktion, von dem Hosenschnitt, der Webart etc. abstrahiert. Erst unter einer besonderen Perspektive gelangt das Stoffliche (nicht der Kleidungsstoff sondern der chemische Stoff) in den Blick und ermöglicht die Frage nach der „stofflichen Zusammensetzung“ der Hose. Ich möchte diese intentionale und interessengebundene Zugangsweise die *Stoffperspektive* nennen und werde sie im folgenden im Rahmen eines Erkenntnismodells zu erläutern versuchen. Meine These ist, daß Stoffliches erst aus einer bestimmten intentionalen Zugangsweise begrifflich gefaßt werden kann und daß diese Zugangsweise in methodischer Präzisierung der Chemie mit gutem Recht als experimentelle

¹² Das Moment der aktiven Veränderung wird unabhängig vom „quantenmechanischen Meßproblem“ nur in der marxistischen Philosophie betont; vgl. z.B. Klaus und Buhr 1969, I: 353 ff. Hier zeigt vermutlich Marx' berühmte elfte Feuerbach-These Nachwirkungen.

Methode bezeichnet werden kann. Damit gelangen wir zu einer ersten Rollenbestimmung des Experiments in der Chemie: Die experimentelle Methode *erschließt erst* den Gegenstandsbe- reich der Chemie im Sinne der Erschließung einer Perspektive. Denn durch die experimentell fundierte Bildung von stofflichen Erfahrungsbegriffen kann erst bestimmt werden, was wir im spezifisch chemischen Sinne unter Stoffen verstehen. Um dies zu erläutern, möchte ich für die Stoffperspektive zunächst ein allgemein gehaltenes *Modell der experimentellen Erkenntnis* entwerfen, das im nächsten Abschnitt inhaltlich präzisiert wird. Das Erkenntnismodell gliedert sich in zwei methodische Hauptschritte: die 1. die Gegenstandsauswahl bzw. -konstitution und 2. die Gegenstandsuntersuchung.

Vor jeder Gegenstandsuntersuchung müssen wir uns im ersten Schritt immer schon etwas durch selektiven, aktiv gestaltenden Zugriff zum Untersuchungsgegenstand machen. Zu diesen vorbereitenden Maßnahmen zur *Konstitution* eines Untersuchungsgegenstandes gehört bereits in unserer alltäglichen sinnlichen Wahrnehmung die aktive Konzentration der Aufmerksamkeit. Das mag in der Alltagswahrnehmung leicht übersehen werden - obwohl uns die Wahrnehmungspsychologie und -physiologie hier inzwischen eines Besseren belehrt hat. Für die stoffliche (speziell chemische) Untersuchung sind diese vorbereitenden Maßnahmen aber zu umfangreichen Techniken ausgearbeitet worden, die man kaum übersehen kann. Ich verweise hier auf die ausgefeilten Techniken der Probenahme, der Probenaufbereitung und der Probenkonservierung und -fixierung. Gegenstände, die durch solche Maßnahmen für die stoffliche Untersuchung vorbereitet sind, werde ich im folgenden unter der stoffperspektivischen Bindung „*Stoffproben*“ nennen. Der zweite Hauptschritt, die Stoffprobenuntersuchung, besteht erstens in der aktiven Wahl oder Gestaltung eines reproduzierbaren Kontextes und zweitens in der Untersuchung des Verhaltens von Stoffproben, die in den Kontext gestellt werden. Unsere alltägliche Erfahrung beruht auf der impliziten Voraussetzung gleichbleibender oder wiederkehrender „Normalkontexte“ (z.B. bestimmte Licht- Temperatur- oder Druckbedingungen, eine räumliche Nähe, Konstanz unserer Wahrnehmungsvermögen, Ausschluß von Stör- oder Täuschungsbedingungen etc.). Solche impliziten Voraussetzungen liegen auch dem empiristischen Erkenntnismodell zugrunde. Es wird nun aber gerade zur Aufgabe einer experimentellen Wissenschaft, die *kontextuellen* Bedingungen zu explizieren, und ihren Einfluß auf die Untersuchungen systematisch und weitreichend zu erfassen. Erst dann können wir im eigentlichen Sinne von einer experimentellen Untersuchung sprechen.

Zur systematischen Explikation kontextueller Bedingungen gesellt sich die zweite wissenschaftliche Aufgabe einer *systematischen* Differenzierung *möglicher* Untersuchungsverläufe. Dabei ist man auf Methoden zur Registrierung angewiesen, die letztlich immer auch auf die sinnliche Wahrnehmung zurückgreifen müssen. Die Rolle der sinnlichen Wahrnehmung ist allerdings in traditionellen empiristischen Ansätzen durch rigorose Vereinfachung überbewertet worden. Spätestens mit der instrumentellen Raffinierung physikalisch-chemischer Registrierungsmethoden durch moderne Elektronik ist deutlich geworden, daß die besondere Art der sinnlichen Wahrnehmung in den Hintergrund tritt gegenüber der Möglichkeit zur sinnlichen Differenzierung überhaupt. Wenn die stoffliche Untersuchung ergebnisorientiert auf Veränderungsmöglichkeiten ausgelegt ist, wie dies typischerweise bei chemischen Experimenten der Fall ist, dann läßt sich die Aufgabe sogar nur durch komplexe Ineinanderschachtelungen von stofflichen Untersuchungen einlösen. Untersucht man nämlich das Reaktionsverhalten einer Stoffprobe, dann muß die resultierende Stoffprobe nach geeigneten Probenaufbereitungen weiteren Untersuchungen zugeführt und mit der Ausgangsstoffprobe verglichen werden. Die Aufgabe der differenzierten Registrierung erweist sich daher in der Chemie als wesentlich komplexer und überdies heterogener als dies im Rahmen einer Theorie der „kontrollierten Beobachtung“ oder des „physikalischen Meßexperiments“ abgehandelt werden könnte.

Die Herstellung der kontextuellen Bedingungen und die Differenzierung möglicher

Untersuchungsverläufe können als *Handlungsregeln* zur praktischen Experimentdurchführung erlernt werden. Indem wir die Handlungsregeln erlernen, erwerben wir aber nicht nur eine Handlungskompetenz, sondern wir lernen auch stoffliche Erfahrungsbegriffe, die durch sprachliche Kodierung zur Kommunikation über faktische oder mögliche experimentelle Stoffverfahren dienen können. Gerade weil das Lernen der Begriffe keine rein sprachinterne Angelegenheit ist, sondern an den von außen kontrollierbaren Erwerb von Handlungs- bzw. Experimentierfertigkeiten geknüpft ist, erreicht die Begrifflichkeit eine hohe intersubjektive Abstimmung. Die experimentelle Methode erweist sich also als Grundlage einer *operationalen Begriffsbildung*, die durch Explikation der kontextuellen Bedingungen einerseits und durch Differenzierung möglicher Versuchsverläufe andererseits in zunehmendem Maße wissenschaftlich präzisiert werden kann.

Durch geschickte Variation der kontextuellen Bedingungen und durch geeignete Differenzierungsmethoden läßt sich schließlich auch ein Begriffsrahmen zur differenzierteren stofflichen Charakterisierung und *Klassifikation* entwickeln. Wenn wir eine Stoffprobe nach vorbereitenden Maßnahmen der Probenteilung in verschiedensten Experimentierkontexten untersuchen, dann wird unsere stoffliche Charakterisierung der Probe schrittweise präzisiert. Erreichen wir dabei innerhalb eines Klassifikationssystems eine eindeutige klassifikatorische Zuordnung, dann halten wir unsere Stoffprobe mit Recht für stofflich eindeutig bestimmt. Wir sagen dann z.B.: „Diese Stoffprobe ist Baumwolle“.

Beim Reden über Stoffe ist aber eine gewisse Vorsicht geboten. Wir können eine Stoffprobe zwar stofflich eindeutig bestimmen, aber damit ist die Stoffprobe selbst nicht der bestimmte Stoff. In unseren Sprachverwendungen sind wir hier etwas nachlässig. Wir sagen: „Dieser Gegenstand ist Baumwolle und jener Gegenstand ist auch Baumwolle.“ Obwohl wir die Gegenstände deutlich voneinander unterscheiden können, sind wir doch nicht bereit, auch entsprechend viele verschiedene Baumwollstoffe zu unterscheiden. Statt dessen gebrauchen wir den Ausdruck „Baumwolle“ zur stofflichen Bestimmung, also in prädikativer Verwendung. Unmißverständlicher wäre daher die Aussage: „Dieser Gegenstand ist baumwollen.“

Was meinen wir aber, wenn wir über Stoffe selbst sprechen, wenn wir den Ausdruck „Baumwolle“ im nominativer Sprechweise verwenden, etwa in Sätzen wie „Baumwolle ist eine Kohlenwasserstoffverbindung“? Wenn wir über Stoffe selbst reden, dann sprechen wir nicht mehr über einzelne Stoffproben sondern über unsere Begriffe, die wir an den experimentellen Verfahren gebildet und an verschiedenen Untersuchungsgegenständen auf systematische Weise zu verknüpfen gelernt haben. Diese Lösung wird überzeugend, sobald man sich bewußt macht, daß die Begriffsbildung und -verknüpfung und damit auch die stoffliche Bestimmung nur im Rahmen einer Perspektive, nämlich der Stoffperspektive, Bedeutung besitzt. Wir neigen dazu, unsere Perspektiven zu verabsolutieren, indem wir unsere perspektivisch gebundenen Begriffe „verdinglichen“. Die Welt des Chemikers wird dann zu einer Welt von Stoffen. Überwindet man die perspektivische Einäugigkeit, dann zeigt sich, daß die Stoffprobe nicht nur unter chemischer Perspektive stofflich bestimmt ist. Sie hat auch unter strukturellen Gesichtspunkten eine bestimmte Textur und unter funktionalen Gesichtspunkten eine bestimmte (wenn auch eingeschränkte) Bekleidungsfunktion, auf die der Besitzer der Hose einmal mehr Wert gelegt hat als auf ihre chemische Bestimmtheit.

3.2 Eine Typologie der Stoffeigenschaften nach experimentellen Kontexten

Ich möchte nun dazu übergehen, die bisher nur allgemein entworfene Stoffperspektive inhaltlich näher zu bestimmen. Da die stoffliche Begriffsbildung von der aktiven Gestaltung der Untersuchungskontexte abhängt, läßt sich eine Typologie stofflicher Begriffe durch Wahl der Kontexte entwickeln, in denen das Verhalten von Stoffproben untersucht werden kann. Um die Stoffproben zu einem Verhalten zu provozieren, müssen wir nach gängigem Verständnis auf sie einwirken, bzw. sie in Wechselwirkung mit dem Kontext bringen. Der Begriff der

Kausalität ist aber philosophisch nicht ganz unproblematisch. Über die experimentelle Methode besitzen wir jedoch - wie bereits bei Bacon angedeutet - umgekehrt die Möglichkeit, einen Kausalitätsbegriff einzuführen. Sobald wir ein Verhalten der Stoffprobe in einem Kontext provozieren, wollen wir einfach davon sprechen, daß wir ein Wechselwirkungsverhältnis zwischen Stoffprobe und Kontext inszeniert haben. Die Kontexte lassen sich dann nach Typen von Wechselwirkungsverhältnissen unterscheiden. Ich möchte hier aus Platzgründen keine systematische Theorie der Wechselwirkungsverhältnisse aus der experimentellen Methode entwickeln, sondern lediglich eine an gängige Spachgewohnheiten angelehnte Typologie vorschlagen. Dabei muß ich an ein intuitives Vorverständnis der Grundbegriffe appellieren. Im folgenden werde ich mich dann hauptsächlich auf die chemischen Kontexte im engeren Sinne konzentrieren. Zunächst also die Typologie der Kontexte, die zugleich eine Typologie der Stoffeigenschaften und damit eine inhaltliche Bestimmung der wissenschaftlichen Stoffperspektive liefert:

1. In Kontexten kontrollierter mechanischer Krafteinwirkung untersuchen wir *mechanische (Werk-)Stoffeigenschaften* (z.B. Mohs-Härte, Bruchfestigkeit).
2. In Kontexten der kontrollierten Einwirkung von thermischer Energie und hydrostatischem Druck untersuchen wir *thermische und thermodynamische Stoffeigenschaften* (z.B. Schmelzpunkt, spez. Wärmekapazität).
3. In Kontexten von bestimmten elektromagnetischen Feldern untersuchen wir *elektrische, magnetische und optische Stoffeigenschaften* (z.B. spez. elektrische Leitfähigkeit, magnetische Suszeptibilität, Brechungsindex).

Die Eigenschaften (1)-(3) könnte man unter dem Begriff der *physikalischen Stoffeigenschaften* zusammenfassen.

4. In Kontexten mit bestimmten Organismen und Ökosysteme untersuchen wir *biologische bzw. ökologische Stoffeigenschaften* (z.B. Toxizität, Ozonzerstörungspotential).
5. In Kontexten mit anderen stofflich bestimmten Stoffproben untersuchen wir *chemische Stoffeigenschaften* im engeren Sinne (z.B. Oxidierbarkeit, Wasserlöslichkeit).

Durch Kombination der Kontexte lassen sich außerdem weitere (sozusagen gemischte) Stoffeigenschaften einführen.

Die übliche Redeweise von „Eigenschaften“ verdient jedoch eine besondere Anmerkung. Unter „Eigenschaften“ verstehen wir gewöhnlich etwas, was den Dingen irgendwie zueigen ist, was zu ihnen gehört und gleichsam an ihnen haftet. Da wir unter der Stoffperspektive das Verhalten von Stoffproben in bestimmten experimentellen Kontexten untersuchen, müßten wir also das besondere Verhalten als Eigenschaft der Stoffproben auffassen. Aber vor und nach dem Experiment verhält sich die Stoffprobe gerade nicht in dieser bestimmten Weise. Wie kann ihr dann das Verhalten zueigen sein? Andererseits erwarten wir von einer stofflich bestimmten Stoffprobe, daß sie sich jederzeit gemäß ihrer stofflichen Bestimmung verhält, sobald wir nur das Experiment durchführen. Indem wir diese Erwartung hegen, schreiben wir ihr eine Dispositionseigenschaft zu, nämlich die Disposition, sich in bestimmten Kontexten auf bestimmte Art zu verhalten. *Alle* Stoffbegriffe sind daher aufgrund ihrer operationalen Fundierung in experimentellen Kontexten *Dispositionsbegriffe*.

Eine experimentell fundierte Stoffklassifikation auf der Basis von Dispositionsbegriffen liefert uns damit stets ein Orientierungswissen für solche Handlungskontexte, die mit unseren Experimentierkontexten vergleichbar sind. Anhand der klassifikatorischen Einordnung einer Stoffprobe gewinnen wir nämlich über die Dispositionseigenschaften Anhaltspunkte, wie sich die Stoffprobe unter bestimmten kontextuellen Bedingungen verhält, ohne daß wir es ihr unmittelbar ansehen könnten. Daraus erklärt sich gerade die technisch-praktische Relevanz der experimentellen Erfahrung.

Die Eigenschaftsproblematik wird noch komplizierter. In chemischen und biologischen Untersuchungskontexten geraten wir nämlich in ernsthafte Schwierigkeiten, das Ver-

halten der Stoffprobe vom Verhalten des Kontextes zu unterscheiden. Wenn wir bspw. eine Stoffprobe mit einer anderen Stoffprobe reagieren lassen, welcher Stoffprobe sollen wir dann das reaktive Verhalten als Eigenschaft zuschreiben? Es scheint vielmehr, daß wir mit der experimentellen Methode stets nur *Verhaltensrelationen* zwischen Stoffproben und Kontexten untersuchen können, und daß wir gerade im interessanten Fall chemischer Experimente eine strikte Trennung gar nicht mehr vornehmen können. Aufgrund der besonderen logischen Struktur von chemischen Stoffbegriffen, die hier nur angerissen werden kann, müßten wir sie eigentlich Dispositionsrelationen nennen. Wenn ich im folgenden trotzdem von „Stoffeigenschaften“ spreche, dann dient das lediglich in Anpassung an Sprachgewohnheiten zur Vermeidung terminologischer Verwirrung. Die Besonderheiten dieser „uneigentlichen Eigenschaften“ sollte man dabei aber niemals außer acht lassen.

3.3 Die experimentelle Hierarchie der Stoffe

Das Experiment dient in der Chemie nicht nur zur Bildung von Begriffen und Klassifikationssystemen. Auch erschöpft man die Rolle des Experiments in der Chemie bei weitem nicht, wenn man es lediglich als Methode zur Stoffprobenuntersuchung zum Zwecke der Erfahrungsbildung betrachtet. Es sind nicht zufällig gerade die aktiven, auf Veränderungen ausgelegten Momente des Experiments, die ein ganz neues Potential bergen, das der Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie völlig verschlossen geblieben ist. Eine zentrale Bedeutung kommt hierbei der hierarchischen Ordnung der Stoffe auf der Basis der chemischen Elemente zu.

Eine hierarchische Stoffordnung hatte bereits Aristoteles auf einer spekulativen Elementbasis entworfen. Betrachtet man die Methode des Aristoteles genauer, dann zeigt sich, daß seine Elemente das Ergebnis einer sorgsam durchgeführten Analyse der stofflichen Erfahrungsbegriffe sind.¹³ Es wurden diejenigen Grundbegriffe gesucht, aus denen sich alle anderen stofflichen Begriffe ableiten lassen. Als Ergebnis dieser Analyse erhielt er zwei Grundbegriffspaare (warm-kalt und weich-fest, bzw. feucht-trocken), aus denen Aristoteles durch paarweise Kombinationen seine Elemente konstruierte. Je nach Ausprägung der Grundeigenschaften versuchte er dann die Eigenschaften aller in der Hierarchie höher veranschlagten Stoffe auf Kombinationen der Grundeigenschaften zurückzuführen. Dieser Weg der begrifflichen Synthese galt ihm als eine Erklärung durch Bezug auf die elementare Zusammensetzung.¹⁴ Die Stoffperspektive des Aristoteles umfaßt aus heutiger Sicht die mechanischen und thermischen Stoffbegriffe, wie sie aus der alltäglichen und handwerklichen Erfahrung gebildet werden können. Seine Methode jedoch blieb auf Operationen mit Begriffen beschränkt, d.h. auf die begriffliche Analyse und Synthese.

Die Geschichte dieser Methode läßt sich auf der einen Seite in fast allen Bereichen der Philosophie bis in die Gegenwart weiterverfolgen, so daß man fast geneigt ist, sie zur philosophischen Methode schlechthin zu erklären. Auf der anderen Seite finden wir gerade in den alchemistischen Auseinandersetzungen mit der Aristotelischen Stoffhierarchie die Bemühung um eine Übertragung der begrifflichen Methode in eine experimentelle Methode der stofflichen Analyse und Synthese. Aus dem Operieren mit Begriffen wurde so eine Operieren mit Stoffproben. Ich kann diese äußerst spannende und aufschlußreiche Geschichte der Entwicklung der chemischen Methode aus der philosophischen hier nicht nachzeichnen. Statt dessen muß ich es mit dem Hinweis bewenden lassen, daß die Chemie eine experimentelle Methode zur stofflichen Ordnung ererbt hat, deren Ordnungspotential letztlich erst im Anschluß an die operationalistische Wende des Elementbegriffs richtig erkannt und ausgeschöpft werden konnte.

Zur experimentellen Stoffanalyse dienen allgemein Untersuchungskontexte, bei denen

¹³ Aristoteles, *De generatione et corruptione*, II, 329a - 330b.

¹⁴ Aristoteles, *Meteorologica*, IV, 385a ff.

das Verhalten einer Stoffprobe dahingehend untersucht werden kann, ob sich im Verlaufe des Experiments eine Trennung in mindestens zwei stofflich unterscheidbare Stoffproben einstellt. Das Besondere dieser Experimente liegt in ihrer *Doppelfunktion* sowohl zur Begriffsbildung als auch zur faktischen Ordnungsgestaltung. Auf der einen Seite untersuchen wir die Stoffproben auf ihre stoffliche Zerlegbarkeit und können sie dann je nach Erfolg durch ein operationales Kriterium entsprechend charakterisieren. Auf der anderen Seite führen wir die stoffliche Zerlegung aber auch faktisch durch. Dadurch gewinnen wir nicht nur Zerlegungsprodukte, die sich durch das entsprechende Verfahren nicht weiter stofflich zerlegen lassen. Wir können auf diese Weise auch eine Ordnungsrelation zwischen den Ausgangsstoffproben und ihren Zerlegungsprodukten begründen. Wenn die entsprechenden Stoffproben stofflich bestimmt sind, dann erreicht man dadurch neben der Klassifikationsstruktur auch eine Relationsordnung der Stoffe. Die Aufgabe einer hierarchischen Stoffordnung besteht nun darin, eine Folge von Zerlegungsoperationen zu finden, so daß die Zerlegungsprodukte eines jeden Schrittes nur durch die nachfolgenden Zerlegungsoperationen weiterzerlegt werden können. Die Lösung dieser Aufgabe ist bekannt. In mechanischen Untersuchungskontexten unterscheiden wir (durch Mahlen und Sichten, durch Filtrieren, Zentrifugieren etc.) zwischen *heterogenen und homogenen Stoffen*. Die homogenen Stoffe werden anhand bestimmter thermischer Untersuchungskontexte (fraktionierte Destillation, Kondensation, Kristallisation etc.) weiter in *homogene Mischungen* und *reine Stoffe* unterschieden. Alle weiterführenden konventionellen Zerlegungsoperationen begründen die Unterscheidung der reinen Stoffe in *zusammengesetzte und elementare Stoffe*. Obwohl eine „blinde“ Anwendung der operationalen Kriterien nicht immer geboten ist,¹⁵ so müssen wir doch, wenn wir bspw. reine Stoffe untersuchen wollen, stets entsprechende Zerlegungsoperationen durchführen.

Welche Bedeutung diese experimentell fundierte hierarchische Stoffordnung für die gesamte chemische Wissenschaft besitzt, ist kaum zu ermessen. Die wohl wichtigste Konsequenz liegt in der Möglichkeit einer systematischen Auswahl des Gegenstandsbereichs, an dem jede chemischen Begriffsbildung ansetzt: der Bereich der *reinen Stoffe*. Erst auf der Grundlage der reinen Stoffe können wir von distinkten, qualitativ unterscheidbaren Gegenständen, von „chemischen Substanzen“, reden, weil von dem (unter quantitativen Stoffbegriffen) kontinuierlichen Gesamtstoffspektrum nur noch diskontinuierliche Abschnitte übrig bleiben. Unter den zahlreichen weiteren Konsequenzen der experimentellen Stoffhierarchie möchte ich zwei wichtige Beispiele anführen: 1. die Präzisierung des Begriffs der chemischen Reaktion, und 2. eine Begründung der Technik der Probenahme.

In den im engeren Sinne chemischen Untersuchungskontexten untersucht man das reaktive Verhalten von Stoffproben, die unter bestimmten experimentellen Bedingungen zu einer Stoffprobe vereinigt werden. Sobald man zwei Stoffproben vereinigt, führt man bereits eine stoffliche Veränderung durch. Von einer *chemischen Reaktion* sprechen wir aber nur dann, wenn die Produktstoffmenge nach dem Experiment von der Gesamtheit der Ausgangsstoffmengen in Hinsicht auf die reinen Stoffe unterscheidbar ist. Man muß also immer einen stofflichen Vergleich auf der Basis der reinen Stoffe - also durch bestimmte Stoffprobenzerlegungen - durchführen. Jede Änderung der Zahl, Art und Menge der qualitativ unterscheidbaren reinen Stoffe wird als chemische Reaktion bezeichnet. Gleichzeitig muß auch sichergestellt werden, daß bei dem Experiment Zahl, Art und Menge der elementaren Stoffe, die man durch Zerlegung der Ausgangs- und Produktstoffmengen erhält, unverändert bleiben. Chemische Reaktionen sind also *gezielte* stoffliche Veränderungen auf der Basis der reinen Stoffe unter *Erhaltungsbedingungen* auf der Basis der elementaren Stoffe. Ohne die experimentell fundierte Stoffhierarchie läßt sich der Begriff der chemischen Reaktion also gar nicht sauber explizieren.

¹⁵ Vgl. die Diskussion von Problemfällen bei den reinen Stoffen von Timmermans 1963.

Hier wird nun deutlich, daß die experimentelle Erkenntnis der Chemie dem „naturwissenschaftlichen Weltbildcharakter“ im Heisenbergschen Sinne gar nicht genügen kann. Insofern in chemischen Experimenten das reaktive Verhalten von Stoffen untersucht wird, ist chemische Erkenntnis definitionsgemäß auf stoffliche Veränderungsmöglichkeiten ausgerichtet. Außerdem zeigt sich nun, daß man mit dem empiristischen Experimentbegriff der „kontrollierten Beobachtung“ in der Chemie nicht sehr weit gelangt. Wir verändern nicht nur aktiv unsere Untersuchungsgegenstände im chemischen Experiment, wir müssen auch eine komplexe Schachtelung von Experimenten zur definierten Feststellung der Veränderungen vor- und nachschalten.

Schließlich stellt sich auch das methodologische Problem der *Reproduzierbarkeit*. Wenn der Untersuchungsgegenstand im chemischen Experiment verändert wird, wie wollen wir dann das Experiment an ihm wiederholen oder gar verschiedene Experimente zur stofflichen Charakterisierung durchführen? Während Wissenschaftstheoretiker das Problem als Novum quantenmechanischer oder psychologischer Experimente diskutieren, kann die Chemie auf eine Jahrtausende alte Lösung zurückgreifen, die sich aus der experimentellen Stoffhierarchie begründen läßt: die *Technik der Probenahme*. Homogene Stoffproben sind nämlich aufgrund des operationalen Kriteriums dadurch gekennzeichnet, daß sie sich durch mechanische Zerlegungsoperationen nicht weiter in stofflich unterscheidbare Stoffproben zerlegen lassen. Folglich erhält man durch mechanische Zerlegung einer Stoffprobe definitionsgemäß stofflich ununterscheidbare Stoffprobenteile, an denen nun verschiedene Experimente zur Charakterisierung der Gesamtstoffprobe durchgeführt werden können. Man hat der Technik der Probenahme unter dem Blickwinkel des Selbstverständlichen bisher wenig Beachtung geschenkt. Tatsächlich stellt sie aber eine notwendige Voraussetzung dar für die experimentelle Erkenntnis und Stoffklassifikation der Chemie. Im Rahmen des Erkenntnismodells der experimentellen Erkenntnis müssen wir sie zu den vorbereitenden Maßnahmen der Gegenstandskonstitution rechnen.

3.4 Der Herstellungscharakter des chemischen Experiments

Wer heute in kulturphilosophischer Reflexion eine Wende zum synthetischen Zeitalter behauptet, der wird nicht vergessen, die künstliche Erzeugung neuer Elemente und Elementarteilchen, die Veränderung des genetischen Codes oder auch die Konstruktion von Erfahrungsräumen durch neue Medien (Stichwort „Cyberspace“) als Belegbeispiele anzuführen. Die chemische Synthese neuer Stoffe findet hingegen - soweit man nicht sprachlich über den Ausdruck „Kunststoffe“ stolpert - bei der gegenwärtigen Erörterung dieses Themas in der Regel keine Beachtung. Das ist einerseits berechtigt. Denn die Herstellung neuer Stoffe, die nicht durch Isolierung aus natürlichen Fundstätten erhalten werden können, ist keineswegs eine neue Kulturleistung, sondern sie reicht mindestens bis ins vierte vorchristliche Jahrtausend zurück (Multhauf 1966, Kap. I). Andererseits ist aber die Anzahl der bekannten reinen Stoffe erst in den letzten hundert Jahren von einigen Tausend auf mittlerweile etwa 10 Millionen herangewachsen.¹⁶ Die moderne Chemie steht geradezu als Paradigma für eine Wissenschaft, die ihre eigenen Gegenstände synthetisch herstellt und ihren Gegenstandsbereich in rasanter Geschwindigkeit erweitert. Dafür dürfen wir in erster Linie die Syntheseaktivitäten der Chemiker verantwortlich machen, die nicht nur vordergründig industriell-technische Interessen verfolgen, sondern die sich der akademischen Naturwissenschaft Chemie verpflichtet fühlen.

Die Herstellung des Neuen im Dienste einer Wissenschaft von der Natur? - Das scheint nicht nur die Weltbildfunktion der Naturwissenschaften, sondern auch das Wissen-

¹⁶ In Pimentel (1985: 4) wird sogar ein überexponentielles Wachstum in den letzten 50 Jahren behauptet.

schaftsbild der Philosophen zu untergraben. Nun wurde aber im letzten Abschnitt deutlich gemacht, daß die experimentelle Methode der Chemie im engeren Sinne auf stoffliche Veränderung auf der Ebene der reinen Stoffe ausgelegt ist. Wer das reaktive Verhalten von Stoffproben untersucht, der versucht damit immer, ein stofflich verschiedenes Produkt herzustellen. Dieser Herstellungscharakter ist wohlgemerkt kein Epiphänomen, sondern eine notwendige Bedingung dafür, daß wir überhaupt von chemischen Experimenten sprechen können. Dabei ist das Herstellungsprodukt auch keineswegs eine belanglose Begleiterscheinung. Wir charakterisieren im Gegenteil das chemische Verhalten einer Stoffprobe dadurch, daß wir eine präzise Charakterisierung ihrer Reaktionsprodukte mit verschiedenen Reaktionspartnern liefern.

Das wirft nun neues Licht auf die logische Struktur der chemischen Eigenschaften. Es wurde bereits festgestellt, daß chemische Eigenschaften eigentlich Relationen sind, die das Reaktionspotential von bestimmten Stoffkombinationen darstellen. Die Relationen müssen nun noch erweitert werden um die *prozessualen Relationen* zu den Reaktionsprodukten. In der Chemie ist die Formulierung komplexer Relationen zur Beschreibung chemischer Experimente nichts Ungewöhnliches; vielmehr ist hierfür eine eigene Zeichensprache entwickelt worden: die Zeichensprache der chemischen Reaktionsgleichungen. Reaktionspartner werden in gleichberechtigter Weise auf die linke Seite und entsprechend die Reaktionsprodukte auf die rechte Seite eines Pfeiles aufgelistet. Faßt man die *Reaktionsgleichungen* (unter qualitativen Gesichtspunkten) als formalisierte Beschreibung chemischer Experimente auf, dann lassen sich daraus zwei Eigenschaftstypen zur chemischen Stoffcharakterisierung ableiten. Stoffe auf der rechten Seite der Gleichung können durch ihre Herstellbarkeitsmöglichkeiten (in chemischer Terminologie: „Darstellungsmöglichkeiten“) und Stoffe auf der linken Seite durch ihre Herstellungsmöglichkeiten charakterisiert werden. Alle experimentell fundierten chemischen Reaktionseigenschaften sind also entweder Herstellbarkeits- oder Herstellungs*dispositionen* in diesem Sinne.

Chemisches Wissen auf der Grundlage von chemischen Experimenten ist immer ein Herstellungswissen und kann als solches unter technischen Zweckgesichtspunkten u.U. fruchtbar gemacht werden. Wird eine Systematik der chemischen Herstellungsmöglichkeiten verknüpft mit einer Systematik von Stoffeigenschaften, die von den Laborkontexten auf lebenspraktische Handlungskontexte übertragbar sind, dann nähert man sich dem technischen Ideal: die gezielte Herstellbarkeit von Stoffmengen mit gewünschten Stoffeigenschaften zur Erfüllung lebenspraktischer Zwecke. Eine zweckorientierte Palette von Werkstoffeigenschaften, elektrischen und optischen Eigenschaften, biologisch-pharmazeutischen und ökologischen Eigenschaften etc. wird gesellschaftlich von der Chemie durchaus bis heute eingefordert. Fragwürdig ist indessen das alchemistisch vererbte Konzept der „Eigenschaftsstoffe“ geworden, das jeden Stoff auf einzelne zweckdienliche Eigenschaften verkürzt (Farbstoffe, Heilstoffe, Werkstoffe, Nahrungsstoffe etc.).¹⁷ Wir haben heute z.B. erkannt, daß einige wunderschöne, lichtechte Farbpigmente unter biologischen Gesichtspunkten hochtoxisch sind, aber auch hervorragende elektro-optische Eigenschaften für die Halbleitertechnik aufweisen, während sie unter ökologischen Gesichtspunkten einer Abfallaufbereitung ernsthafte Probleme bereiten können. An die Stelle der einseitig zweckoptimierten Stoffherstellung rückt zunehmend eine Nachfrage nach Stoffen, die in vorausschauender Umsicht unter vielfältigen Aspekten lebenspraktischen Zwecken angepaßt sind. Daß gerade hier - wo es um eine kritische Reflexion des Stoffbegriffs geht - neben der Chemie auch die Philosophie in besonderer Weise herausgefordert ist, bedarf wohl kaum einer Erwähnung.

Ich möchte aber noch einmal ausdrücklich betonen, daß der Herstellungscharakter des chemischen Experiments nicht erst aufgrund einer technischen Zwecksetzung ins Spiel

¹⁷ Vgl. dazu Farber 1931

kommt, sondern daß er bereits in der logischen Struktur des chemischen Experiments begründet ist. Ich betone das hier explizit gegen konstruktivistische Begründungsversuche unter einer voreiligen und einseitigen Zwecksetzung. Daß die historische Entwicklung der chemischen Wissenschaft gerade wegen ihres Herstellungspotentials stets auch an technischen Zwecken orientiert war und ist, steht wohl außer Frage. Man sollte sich aber m.E. nicht bereits zu Beginn einer bisher versäumten philosophischen Reflexion der Chemie den Blick einseitig verstellen. Aus dem Herstellungscharakter lassen sich nämlich noch eine Reihe anderer Konsequenzen ableiten, die in traditionellen erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Ansätzen aus verständlichen Gründen übersehen werden. Wer z.B. meint, daß der präparative Eifer der Chemie nur unter technischen Zweckgesichtspunkten verständlich wird, der übersieht das interne Entwicklungspotential dieser Wissenschaft. Denn der Herstellungscharakter evoziert unter der epistemologischen Zielsetzung einer systematischen Untersuchung und Klassifikation von Stoffen bereits eine Eigendynamik. Durch systematische Untersuchung des reaktiven Verhaltens von Stoffproben wird nämlich einerseits das Reich der Stoffe durch chemische Synthesen beständig erweitert. Andererseits schafft man aber mit den neuen Stoffen auch wieder neue Reaktionspartner für weitere chemische Untersuchungen, die wiederum zu neuen Stoffen führen können usw.. Angesichts dieser methodisch angelegten Eigendynamik, die zu einer planlosen Vervielfältigung der Stoffe treibt, scheint hier eine wissenschaftskritische Analyse der zugrunde gelegten Zweckbestimmungen in der Tat dringend geboten. Die Gefahr einer „Elfenbeintürmelei“ ist also keineswegs nur eine Eigenart der Philosophie.

3.5 Das chemische Relationsnetz als Ordnungs- und Objektivierungsgrundlage

Die Chemie ist wegen der rasant wachsenden Anzahl ihrer Gegenstände in besonderer Weise vor Problemen einer systematischen, überschaubaren und zweckmäßigen Ordnung ihres Gegenstandsbereichs gestellt. Eine solche Ordnung läßt sich längst nicht mehr listenartig durch bloße Auflistung der Stoffeigenschaften jedes Stoffes erreichen. Statt dessen kann man aber die experimentelle Methode der Chemie gerade aufgrund ihres Herstellungscharakters fruchtbar machen. Für jede chemischen Reaktion läßt sich nämlich, wie bereits angedeutet, eine Relation zwischen den beteiligten reinen Stoffen konstruieren. Da alle chemisch untersuchten Stoffe in chemischen Relationen zu anderen Stoffen stehen, gewinnt man daraus ein komplexes *relationales Netz* zur chemischen Ordnung der Stoffe. Die wichtigsten dieser Ordnungsrelationen sind selbstverständlich die Relationen zwischen Verbindungen und ihren elementaren Zerlegungsprodukten, die schon angesprochen wurden. Auf diesen Relationen basiert das gesamte chemische Klassifikations- und Nomenklatursystem der Stoffe. Es wäre gar nicht auszudenken, wie man ohne diese Ordnungsrelationen heute auskommen könnte.

Man vergißt leicht, daß die Angabe der elementaren Zusammensetzung eine *Relation* zwischen mehreren Stoffen behauptet, die auf einem besonderen Typ von chemischen Reaktionen gründet. Noch leichter übersieht man, daß der überwiegende Teil der chemischen (zumal der älteren) Literatur mit detaillierten Beschreibungen chemischer Darstellungs- und Reaktionsmöglichkeiten gefüllt ist, die jeden Stoff mit zahlreichen anderen Stoffen durch chemische Relationen vernetzen. Die Chemie hat es bisher versäumt, dieses experimentell fundierte Ordnungspotential über die Element-Verbindungsrelationen hinaus durch Entwicklung geeigneter Darstellungsformen systematisch auszuschöpfen. Statt dessen wird chemisches Wissen, das ja ein *Wissen von Relationen* ist, im Mißverständnis seiner logischen Struktur noch immer überwiegend listenartig archiviert.

Um so ungewöhnlicher wird daher meine These erscheinen, daß das chemische Relationsnetz nicht nur eine Ordnungsstruktur ist, die das chemische Wissen aller bekannten Stoffe integrieren kann. Das Relationsnetz liefert auch in Analogie zum Konzept des physikalischen Raumes eine *Objektivitätsgrundlage* für Stoffe und eine Planungsgrundlage für den

theoretischen Entwurf und die Suche nach neuen Stoffen. Zur Erläuterung stellen wir uns vor, daß jemand über ungewöhnliche physikalische Stoffeigenschaften eines angeblich neuen Stoffes berichtet, ohne seine chemische Synthesemöglichkeiten anzugeben. Solange wir nicht seine Synthesemöglichkeiten kennen, ist der Stoff nicht intersubjektiv zugänglich, und die experimentellen Ergebnisse sind nicht nachprüfbar. Erst wenn er über chemische Relationen mit anderen bekannten Stoffen verknüpft ist, wenn ihm also im chemischen Relationsnetz ein definierter Ort zugewiesen ist, dann kann der neue Stoff zum Objekt der Wissenschaft werden. Wir fragen berechtigterweise nach dem geographischen oder physikalischen Ort einer ungewöhnlichen Pflanze, eines geologischen oder astronomischen Phänomens, von denen uns berichtet wird, um uns selbst von der Existenz dieser Phänomene überzeugen zu können. Analog fragen wir in der Chemie nach dem chemischen Ort eines neuen Stoffes. Mit der Angabe des Ortes erhalten wir dann eine Beschreibung des Weges, den wir hier mit chemischen Synthesoperationen beschreiten müssen. Auf diese Weise garantiert uns der Herstellungscharakter der chemischen Experimente die Objektivität der chemischen Gegenstände.

3.6 Ein Exkurs zur chemischen Strukturtheorie

Die Analogie zum physikalischen Raum, die uns zum Begriff des chemischen Raums als Syntheseraums führt, wird dem Chemiker wenig vertraut sein. Vertrauter sind ihm wohl der topologische und der geometrische Raum, in dem die chemischen Strukturen entworfen werden. Doch schauen wir den Begriff der chemischen Struktur, wie er ursprünglich von Kekul, und Butlerov für die organische Chemie entwickelt wurde, genauer an.

Die *chemische Strukturaufklärung* etwa eines Naturstoffes bestand bis vor fünfzig Jahren in der Aufgabe, diesen Stoff durch definierte Syntheseschritte auf einen anderen Stoff zurückzuführen, dessen Struktur bereits aufgeklärt war. Dabei mußten die einzelnen Syntheseschritte auf der Molekülstrukturebene durch definierte Mechanismen der Strukturumgestaltung modelliert werden können. Die Struktur galt dann als aufgeklärt, wenn man auf solchem modellgeleiteten experimentellen Wege eine Stoffprobe herstellen konnte, die von der Naturstoffprobe stofflich nicht zu unterscheiden war. Ich kann hier leider nicht näher auf die hochinteressante und methodologisch bisher zu wenig reflektierte Entwicklung der chemischen Strukturtheorie eingehen; sie hat eine ungeheure Systematisierung der chemischen Synthesoperationen erbracht und damit den „Syntheseboom“ der letzten hundert Jahre ermöglicht (vgl. Schummer 1994). Es läßt sich aber bereits eine Beziehung zum zuvor Gesagten herstellen. Denn der Naturstoff - zunächst noch ohne chemische Relationen isoliert zu anderen Stoffen - gewinnt durch die chemische Strukturaufklärung erst seine Objektivitätsgrundlage für eine experimentelle Wissenschaft. Durch definierte und strukturell modellierte Syntheseschritte wird er mit bekannten Stoffen in chemische Relationen gestellt und erhält so einen definierten Ort im chemischen Relationsnetz.

Der chemische Strukturbegriff ist heute leider einem verbreiteten Mißverständnis zum Opfer gefallen, wofür einerseits die chemische Unkenntnis von Nicht-Chemikern (insbesondere von Physikern und Philosophen) und andererseits die philosophische Artikulationsunfähigkeit der meisten Chemiker verantwortlich zu machen sind. Wenn chemische Strukturen in der Zeichensprache der Chemie als isolierte, statische geometrische Gebilde dargestellt werden, dann bedeutet dies keineswegs, daß damit Strukturbegriffe auf Koordinatensätze reduziert werden könnten. Dem *Begriff* der chemischen Struktur kommen wir erst auf die Spur, sobald wir fragen, welche Informationen einer solchen Strukturdarstellung entnommen werden können. Hier scheiden sich dann die Geister mit erschreckender Deutlichkeit. Während der eine nur geometrische Relationen zwischen Atomen anzugeben weiß, betet der andere eine Liste von chemischen Stoffeigenschaften herunter, ohne allgemein verständlich machen zu können, woher er diese Information nimmt. Tatsächlich liest er aus verschiedenen statischen Strukturteilen, aus sog. „funktionellen Gruppen“, Möglichkeiten für dynamische Umstrukt-

rierungsmechanismen im Zusammenspiel mit anderen chemischen Strukturen heraus. Anschließend übersetzt er dann diese strukturellen Dispositionsrelationen in stoffliche Dispositionsrelationen nach einem vereinbarten Übersetzungskanon. Wären aus den statischen Strukturdarstellungen keine dynamischen und relationalen Momente herauszulesen, die in experimentelle Stofferfahrungsbegriffe übersetzbar sind, dann wäre das gesamte Strukturkonzept in der Tat für die Chemie völlig nutzlos.

Interpretiert man die Entwicklung der chemischen Strukturtheorie als schrittweise Übertragung aller chemischen Relationen zwischen Stoffen in mechanistische Relationen zwischen Molekülstrukturen nach definierten Regeln, dann wird verständlich, warum die chemischen Strukturen chemische Informationen enthalten. Zugleich wird deutlich, warum die Strukturbestimmung als chemisches *Identifikationskriterium* dienen kann. Sie weist nämlich jedem Stoff einen definierten Ort im chemischen Relationsnetz zu und legt so seine chemische Identität eindeutig fest. Die experimentelle Methode der Chemie zeigt sich hier unter methodologischen Gesichtspunkten als versteckte Grundlage der chemischen Strukturtheorie und eines strukturellen Identitätsbegriffs für Stoffe.

3.7 Der experimentalistische Realismus der präparativen Chemiker

Die chemische Strukturtheorie hat aber auch ganz neue Horizonte für die experimentellen Methode der Chemie geöffnet. Am Leitfaden der Modellierung chemischer Syntheseschritte über die Reaktionsmechanismen wurden nämlich die Syntheseoperationen im hohen Grade systematisiert und symbolisch kodiert. Man kann heute in der Sprache der Molekülstrukturen eine Synthesepanung für neue Stoffe entwerfen, aus der sich die wichtigsten Handlungsregeln für die experimentelle Synthese ablesen lassen - auch wenn diese Sprache für Nicht-Chemiker unverständlich bleibt. Die experimentellen Operationen mit Stoffen werden dabei durch gedankliche Operationen an Strukturmodellen nach strikten aber übersetzbaren Regeln gewissermaßen vorgedacht. Man versteht die moderne präparative Chemie m.E. am besten als *Wissenschaft vom Reich der möglichen Stoffe*, deren Theorienbildung auf der Molekülstrukturebene in ständiger Rückübersetzung zu und Kontrolle mit experimentellen Möglichkeiten erfolgt. Unter Zuhilfenahme des Begriffs des chemischen Raumes kann man sagen, daß dabei neue Orte und neue Wege im chemischen Raum entworfen werden. Ein auf diese Weise theoretisch entworfener neuer Stoff besitzt selbstverständlich keinen Ort im physikalischen, sondern nur im chemischen Raum.

Theoretisch entworfene Stoffe sind selbstverständlich *theoretische Entitäten* im vollen wissenschaftstheoretischen Sinne. Sobald man eine theoretische Stoffentität in der Chemie begrifflich entwirft, bestimmt man sie notwendigerweise begrifflich durch ihre Herstellbarkeitsdispositionen. Denn Stoffe sind ja, wie gezeigt wurde, in der chemischen Begrifflichkeit nur durch Herstellungs- und Herstellbarkeitsdispositionen bestimmt. Damit gelangen wir zu einem philosophisch unerwarteten, aber chemisch durchaus selbstverständlichen Ergebnis. Präparative Chemiker sind nämlich gewissermaßen von Berufs wegen *Realisten* inbezug auf ihre theoretisch entworfenen Stoffentitäten. Denn mit dem theoretischen Entwurf einer Stoffentität zeigen sie zugleich auch deren Realisierungsmöglichkeiten auf im Sinne einer experimentellen Synthese entsprechender Stoffproben, die sie unmittelbar in Angriff nehmen können. Ihr alltäglich unter Beweis gestellter experimenteller Erfolg scheint überdies dieser realistischen Haltung durchaus Recht zu geben. Die experimentelle Methode der Chemie liefert damit gerade aufgrund ihres herstellungspraktischen Charakters auch eine Grundlage für einen nicht-naiven experimentalistischen Realismus. Der Ausdruck „Realismus“ meint hier allerdings keine metaphysische Position mehr, sondern eine rechtfertigungsfähige forschungsstrategische Haltung, die durch das Bemühen um experimentelle Realisierung theoretisch

entworfenen Entitäten gekennzeichnet ist.¹⁸

3.8 Schluß

Definiert man die Chemie als Wissenschaft von den Stoffen, dann drängt sich unweigerlich die Frage nach dem Stoffbegriff auf, die sich bei genauerer Betrachtung nur durch Angabe einer besonderen Perspektive, einer interessegebundenen intentionalen Zugangsweise, beantworten läßt. Im Versuch einer schärferen Konturierung gewinnt diese *Stoffperspektive* methodische Züge, die traditionelle Erkenntnismodelle vermissen lassen: Handlungsmomente der aktiven Gegenstandskonstitution, der aktiven Kontextgestaltung und der Inszenierung differenzierbarer Prozesse. Durch Systematisierung und Präzisierung der entsprechenden Handlungsregeln wird die Stoffperspektive zu einer wissenschaftlichen Untersuchungsmethode - zur *experimentellen* Methode der Chemie (vgl. Schema 1).

Schema 1: Besondere Funktionen der experimentellen Methode in der Chemie

1. Präzisierung der vorwissenschaftlichen Stoffperspektive zur wissenschaftlichen Stoffkenntnis
2. operationale Begriffsbildung zur stofflichen Charakterisierung und Klassifikation
3. faktische Gestaltung der hierarchischen Stoffordnung
4. Erweiterung der Techniken zur chemischen Gegenstandskonstitution, z.B. Probenahme, Reinigung (ermöglicht chemische Begriffsbildung auf der Grundlage der reinen Stoffe)
5. Gegenstandserweiterung durch Herstellungspraxis
 - a) eigendynamisch
 - b) unter technischen Zweckgesichtspunkten
6. Entwicklung relationaler Ordnungsstrukturen (chemische Ordnung, Objektivität, Identität)
7. Grundlage chemischer Modellbildung (chemische Strukturtheorie)
8. Begründung eines pragmatischen (experimentalistischen) Realismus in bezug auf theoretische Stoffentitäten

Ich habe versucht zu zeigen, daß die experimentelle Methode erst eine systematische Stofferfahrung und Stoffbegriffsbildung möglich macht und daß das Reden über Stoffe eine semantische Stufe höher anzusetzen ist, weil es ein klassifikatorisches System voraussetzt. Über die Erfahrungs- und Begriffsbildung hinausgewinnt die experimentelle Methode der Chemie durch die aktiv gestaltenden und verändernden Momente eine ganz neue Bedeutung als gestaltendes Ordnungsinstrument. Die experimentelle Ordnung wird nicht durch Vergleich und Verknüpfung von Begriffen, sondern über prozessuale Relationen zwischen Stoffproben hergestellt. Das wiederum erlaubt die Entwicklung experimenteller Techniken für einen gezielten Zugriff auf bestimmte Gegenstände innerhalb der experimentellen Ordnung. Weil chemische Experimente definitionsgemäß auf stoffliche Veränderungen ausgelegt sind, ist die experimentelle Methode der Chemie auch eine Methode zur Gegenstandserweiterung. Daraus begründet sich einerseits die *technische Relevanz* chemischen Wissens und andererseits die *Ei-*

¹⁸ Zur Position eines wissenschaftlichen Realismus im Sinne einer rechtfertigungsfähigen forschungsstrategischen Haltung vgl. R. Harrés „policy realism“ (Harré, 1986: 194 ff.); siehe auch Schummer 1994.

gendynamik zur stofflichen Vervielfältigung in der chemischen Forschung. Aus dem Herstellungscharakter der experimentellen Methode läßt sich aber auch eine besondere *relationale Ordnungsstruktur* für alle reinen Stoffe ableiten und die Begriffe der *Objektivität und Identität* chemischer Gegenstände begründen. Die für die Chemie zentrale *Strukturtheorie* kann als Übertragung und weitergeführte Systematisierung der experimentell erschlossenen Ordnungsrelationen auf einer theoretischen Ebene interpretiert werden. Schließlich konnte gezeigt werden, daß die experimentelle Methode in der modernen präparativen Chemie auch zur Begründung eines *experimentalistischen Realismus* in bezug auf theoretische Entitäten tauglich ist.

Vergleicht man die zentrale und vielgestaltige Rolle des Experiments in der Chemie mit dessen kümmerlicher Berücksichtigung in der Philosophie, dann lassen sich die ungeheuren Defizite im gegenwärtigen wissenschaftstheoretischen Verständnis der Chemie ermessen, die nicht zuletzt auch durch solch hanebüchenen Aussagen wie dem einleitenden Heisenberg-Zitat führen. Fast jeder der angeführten Aspekte bewegt sich bemerkenswerterweise in philosophisches Neuland bei der gleichzeitigen Gefahr, den Chemiker mit Selbstverständlichkeiten zu langweilen.

Bei der Analyse der Rolle des Experiments in der Chemie wurde bewußt die durch den experimentellen Handlungsbegriff naheliegende *Zweckfrage*, soweit es geht, auszuklammern versucht. Erstens glaube ich, daß die Handlungszwecke in der chemischen Forschung äußerst heterogen und oft genug gar nicht eindeutig bestimmbar sind. Die Zweckfrage läßt sich dann erst umgekehrt aus einer Analyse des methodischen Potentials in einer normativen Diskussion einführen. Und zweitens finden wir heute viele Besonderheiten des chemischen Experiments auch in anderen wissenschaftlichen Disziplinen wieder, die kaum auf chemische Fragestellungen beschränkt werden können, z.B. in der Festkörper- und Hochenergiephysik, in den technischen Materialwissenschaften, in der Geologie und Mineralogie, in der Genetik, in der Toxikologie, Pharmazie und experimentellen Medizin. Die Chemie erweist sich hier aufgrund ihrer experimentellen Methode als Prototyp einer Gruppe von Wissenschaften, die man mit Kuhn (177: 92) als moderne Varianten der „Baconischen Wissenschaften“ bezeichnen könnte. Daraus leitet sich gerade die besondere gegenwärtige Aufgabe und Herausforderung einer philosophischen Auseinandersetzung mit der Chemie ab, die von der philosophischen Tradition nicht zufällig so hartnäckig verdrängt wurde wie auch das Experiment.

5. Literaturverzeichnis

- Aristoteles, De generatione et corruptione, in: *Aristoteles - Die Lehrschriften*; hrsg., übertragen und in ihrer Entstehung erläutert von P. Gohlke, Bd. IV.2, Paderborn 1958.
- Aristoteles, Meteorologica, in: *Aristoteles - Werke in deutscher Übersetzung*; begr. von E. Grumbach, hrsg. von H. Flashar, Bd. 12, Teil 1, Darmstadt 1970.
- Bacon 1990: F. Bacon, *Neues Organon*, Hamburg 1990.
- Bergmann 1972: G. Bergmann, Sinn und Unsinn des methodologischen Operationalismus, in: E. Topitsch (Hg.), *Logik der Sozialwissenschaften*, Köln 1972, S. 104-112; im Original: Sense and Nonsense in Operationism, *The Scientific Monthly* (1954) 59: 210-215.
- Böhme et al. 1977: G. Böhme et al. (Hg.), *Experimentelle Philosophie*, Frankfurt/M. 1977.
- Bridgman 1927: P.W. Bridgman, *Logic of Modern Physics*, New York 1927.
- Carnap 1953: R. Carnap: Testability and Meaning, in: H. Feigl, M. Brodbeck (Hg.), *Readings in the Philosophy of Science*, New York 1953, S. 47-92.
- Cartwright 1983: N. Cartwright, *How the Laws of Physics Lie*, Oxford 1983.
- Collingwood 1940: R.G. Collingwood, *An Essay on Metaphysics*, Oxford 1940.
- Crombie 1953: A.C. Crombie, *Robert Grosseteste and the Origin of Experimental Science*, Oxford 1953.
- Dingler 1928: H. Dingler, *Das Experiment. Sein Wesen und seine Geschichte*, München 1928.

- Farber 1931: E. Farber, Zur Geschichte der Zuordnung von Stoff und Eigenschaft, *Isis* (1931) 16: 425-438.
- Franklin 1986: A. Franklin, *The Neglect of Experiment*, Cambridge 1986.
- Frey 1972: G. Frey: Stichwort „Experiment“, in: J. Ritter (Hg.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd II, Darmstadt 1972.
- Gasking 1955: D. Gasking, Causation and Recipes, *Mind* (1955) 64: 479-487.
- Gooding 1990: D. Gooding, *Experiment and the Making of Meaning*, Dordrecht 1990.
- Gooding et al. 1989: D. Gooding, T. Pinch, S. Schaffer (Hg.), *The Uses of Experiment*, Cambridge 1989.
- Hacking 1983: I. Hacking, *Representing and Intervening*, Cambridge 1983.
- Harré, 1984: R. Harré, *Great Scientific Experiments*, Oxford 1984.
- Harré, 1986: R. Harré, *Varieties of Realism*, Oxford 1986.
- Heisenberg 1955: W. Heisenberg, *Das Naturbild der heutigen Physik*, Hamburg 1955.
- Herbert 1987: N. Herbert, *Quantenrealität*, Basel 1987.
- Hunke 1965 S. Hunke, *Allahs Sonne über dem Abendland*, Frankfurt/M., Hamburg 1965.
- Kant 1787: I. Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, Riga 1787.
- Klaus und Buhr 1969: G. Klaus und M. Buhr (Hg.), *Philosophisches Wörterbuch*, Berlin 1969.
- Kuhlen und Schneider 1972: R. Kuhlen und U. Schneider: Stichwort „Experimentalphilosophie“, in: J. Ritter (Hg.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd. II, Darmstadt 1972.
- Kuhn 1977: Th. S. Kuhn, Mathematische versus experimentelle Traditionen in der Entwicklung der physikalischen Wissenschaften, in ders., *Die Struktur des Neuen*, Frankfurt/M. 1977, S. 84-124.
- Locke 1975: J. Locke, *An Essay Concerning Human Understanding*, Oxford 1975.
- Mayer 1980: U. Mayer, Stichwort „Experiment in den Naturwissenschaften“, in J. Speck (Hg.), *Handbuch wissenschaftstheoretischer Begriffe*, Bd. 1, Göttingen 1980.
- Multhauf 1966: R.P. Multhauf, *The Origins of Chemistry*, London 1966.
- Pimentel 1985: G.C. Pimentel et al. (Hg.), *Opportunities in Chemistry*, Washington 1985.
- Schadewaldt 1978: W. Schadewaldt, *Die Anfänge der Philosophie bei den Griechen*, Frankfurt/M. 1978
- Schummer 1994: J. Schummer, *Referenzrealismus, Referenzmethodologie und Chemie. Wissenschaftstheoretische Untersuchungen der Chemie im Anschluß an Rom Harrés „Varieties of Realism“*, Dissertation, Universität Karlsruhe 1994.
- Tetens 1987: H. Tetens, *Experimentelle Erfahrung*, Hamburg 1987.
- Timmermans 1963 J. Timmermans, *The Concept of Species in Chemistry*, New York 1963.
- Turner 1990: G.L.E. Turner, *Scientific Instruments and Experimental Philosophy 1550-1850*, Brookfield 1990.
- van den Daele 1977: W. van den Daele, Die soziale Konstruktion der Wissenschaft, in: Böhme et al., *Experimentelle Philosophie*, Frankfurt/M. 1977.
- von Wright 1979: G.W. von Wright, *Norm und Handlung*, Königstein 1979.