

Ist die Chemie eine schöne Kunst?

Ein Beitrag zum Verhältnis von Wissenschaft und Kunst

Joachim Schummer

1. Vorbemerkung zum Verhältnis von Wissenschaft und Kunst

Das Thema "Wissenschaft und Kunst" ist ein Evergreen in der abendländischen Kulturgeschichte, der sich in den letzten Jahren wachsender Beliebtheit erfreut. Denn im Zuge moderner Ausdifferenzierung der Wissenschaften verspricht die Inanspruchnahme des Ästhetischen eine Reintegrationskraft, die allen Unkenrufen von den "two cultures" trotzen soll. An die Stelle der naturhistorischen Museen des 19. Jahrhunderts, der ästhetischen Darbietungsstätten der Zoologie, Botanik oder Mineralogie, treten heute multimediale Spektakel, die uns in die Schönheit der fraktalen Geometrie, der Astronomie oder der Kernspintomographie einführen wollen. Dabei rückt neben die neo-pythagoreische Naturbewunderung von Haeckel bis Heisenberg¹ zunehmend auch die ästhetische Faszination an naturwissenschaftlich-technischen Hervorbringungen. Während interdisziplinäre Symposien zum Verhältnis von Wissenschaft und Kunst noch "um einen Austausch von Informationen, um besseres gegenseitiges Verständnis, um die Anregung zu gemeinsamen Anstrengungen im kulturellen Bereich"² bemüht sind, scheinen z.B. die Verantwortlichen des Pariser *Cité de Sciences* längst die zukünftige Einheit von Wissenschaft, Technik und Kunst gefunden zu haben.

Das Verhältnis von Wissenschaft und Kunst wurde in der Philosophie durchaus heterogen diskutiert. Während etwa Schiller, Schelling, Hölderlin und noch Schopenhauer an der "ästhetischen Utopie" (Habermas 1985, S. 44) der Romantik festhielten, daß die Kunst im Vergleich zur Wissenschaft zu einer höheren Identität, Wahrheit oder Freiheit fähig sei, hielten der Positivismus, der Materialismus sowie der Kantianismus an der Erkenntnisdominanz der Wissenschaft fest. Erst Nietzsche versuchte wieder mit seiner voluntaristischen Destruktion des wissenschaftlichen Erkenntnisanspruchs eine "Artistenmetaphysik" (ebd., S. 118) zu begründen, versuchte "die Wissenschaft unter der Optik des Künstlers zu sehn" (Nietzsche 1972, S. 7). Nach Welsch (1989, S. 136) ist damit das Programm eines "ästhetischen Denkens" formuliert, das erst in der gegenwärtigen Philosophie eingelöst werde. Feyerabend (1984) und Goodman (1973) werden als prominente Beispiele zitiert; doch beide wählen nicht die Kunst, sondern der eine wählt entsprechend seiner wissenschaftstheoretischen Herkunft den Pluralismus von (Denk-)Stilen und der andere als analytischer Sprachphilosoph den Umgang mit Symbolsystemen als gemeinsame Optik für Kunst und Wissenschaft. Es geht also (zumindest hier noch) nicht um eine generelle Ästhetisierung, sondern nur um eine Einebnung

¹ Vgl. z.B. Haeckel (1899), Heisenberg (1977), McMorris (1970). Ein neuestes Zeugnis populärwissenschaftlichen Neo-Pythagoräismus' in der Physik bietet Zee (1990): "Laßt uns vor allem darauf achten, daß das Ganze schön ist, dann wird sich die Wahrheit von selbst ergeben!" So lautet das Motto der Grundlagenphysiker." (S. 15) "Wie die Griechen des Altertums [...] werde aber auch ich dabei bleiben, Symmetrie und Schönheit gleichzusetzen." (S. 23)

² Aus der Ankündigung des Symposiums "Kunst und Naturwissenschaft - Naturwissenschaft und Kunst. Versuche einer Begegnung" (1.-3. Dez. 1994, Leipzig) von H.W. Franke und C. Baumann.

der Unterschiede von Kunst und Wissenschaft, wie etwa auch Derrida und Rorty um einen fließenden Übergang zwischen Philosophie und Literatur(kritik) bemüht sind.

Je allgemeiner der Vergleichsstandpunkt, desto geringer werden die feststellbaren Unterschiede und desto pauschaler die Resultate. Wer als *conditio humana* die Suche nach Erkenntnis bzw. Wahrheit, die Kreativität, die Sprachbegabung etc. festlegt, der wird bei entsprechender Allgemeinheit der Begriffe keine Mühe haben, das Gemeinsame von Kunst und Wissenschaft herauszustellen. Entgegen solcher Tendenzen möchte ich in der folgenden Untersuchung eher ins Detail gehen. Weder die Wissenschaft im allgemeinen noch die Wissenschaften im Ganzen (von der Afrikanistik über die Plasmaphysik bis zur Zytologie), sondern die Chemie im Besonderen, und nicht die Chemie im Ganzen, sondern nur bestimmte Hervorbringungen der Chemiker sollen hinsichtlich ihres ästhetischen Charakters auf der Grundlage verschiedener ästhetischer Theorien untersucht werden.

Die Auswahl der Chemie ist erstens durch einen wachsenden ästhetischen Anspruch der Chemiker in den letzten dreißig Jahren motiviert, der sich z.B. bekundet durch Aufsätze wie "Molecular Beauty" oder "Schöne Moleküle in der Organischen Chemie",³ durch farbenprächtig gestylte Moleküldarstellungen auf Titelseiten chemischer Fachzeitschriften, durch die Zelebration von "Molekülen des Jahres", die eine Tetraeder-, Dodekaeder- oder Fußballstruktur aufweisen und deren Synthese z.T. Jahrzehnte intensiver Forschung vieler Arbeitsgruppen beansprucht haben etc. Ein Molekül etwa von der Gestalt eines Fußballs: das nimmt nicht nur auf der Hitliste der naturwissenschaftlichen Forschungsthemen einen vorrangigen Platz ein,⁴ daran durfte inzwischen auch die medieninformierte Öffentlichkeit den besonderen Reiz der molekularen Forschung schätzen lernen. Die Chemie empfiehlt sich aber zweitens auch durch ihren sowohl historisch als auch systematisch herausragenden poetischen Charakter, den ich ganz traditionell als notwendige Bedingung für Kunst auffasse und für die Chemie im ersten Teil herausarbeiten werde. Erst vor dem Hintergrund des poetischen Charakters wird der ästhetische Anspruch der Chemie verständlich, wie er etwa in der Formulierung von Hoffmann (1993, S. 68) zum Ausdruck kommt: "Chemiker können in der Natur vorkommende Moleküle künstlich herstellen oder nie dagewesene Strukturen erschaffen, deren einziger Wert ihr ästhetischer Reiz ist."

In Anbetracht der Vielfalt ästhetischer Theorien wird die Frage nach dem ästhetischen Charakter der chemischen Hervorbringungen im zweiten Untersuchungsteil ein heikles Unterfangen, das kaum eine endgültige Antwort zuläßt, weswegen vermutlich solche Spezialuntersuchungen in der Ästhetik bisher gemieden wurden. Soweit es geht, werde ich mich dabei aber von systematischen Gesichtspunkten leiten lassen, indem ich drei ontologische Typen der chemischen Hervorbringungen unterscheide, welche die Auswahl der ästhetischen Theorien jeweils beschränken werden. In jedem Falle sollen aber diejenigen ästhetischen Theorien herangezogen werden, auf die sich der ästhetische Anspruch der Chemiker direkt oder indirekt bezieht.

Sollte unsere Untersuchung negativ ausfallen, dann wäre dadurch der ästhetische Anspruch der Chemie und damit auch die Legitimation der entsprechenden Forschungen ernsthaft in Frage gestellt. Falls wir jedoch fündig werden, dann wäre zwar "nur" eine Beziehung der Chemie (und nicht "der" Wissenschaft) zur Kunst aufgezeigt; aber diese Beziehung wäre nicht bloß das Ergebnis einer bereits in der Perspektive vorausgesetzten formalen oder strukturellen Gemeinsamkeit, sondern das ästhetische Moment wäre dann in bestimmten chemischen Forschungsaktivitäten nachgewiesen. An die Stelle der traditionellen Frage nach dem Verhältnis von Wissenschaft und Kunst könnten dann z.B. die Fragen treten, in welchem

³ Hoffmann (1988-89; 1990), Vögtle/Rossa/Bunzel (1982), Vögtle (1989a); weitere Aufsätze im Literaturverzeichnis.

⁴ Vgl. z.B. die Hitlisten in *Bild der Wissenschaft*.

Ausmaß ästhetische Momente in der Wissenschaft vorhanden, wünschenswert oder notwendig sind.

2. Der poetische Charakter der Chemie

In seiner bekannten Abneigung gegen den "doppelten Betrug" aller Phantasiebilder erzeugenden Künste unterschied Platon deutlich zwischen (im engeren Sinne) poetischen und mimetischen - zwischen Sachen und Bilder von Sachen hervorbringenden - Künsten, wobei ihm Architektur und Zeichenkunst als Musterbeispiele der jeweiligen Art galten (*Soph.*, 266 c-d). Nur wenn man eine Zeichnung als Sache und nicht als Darstellung betrachtet, dann könne auch sie als Produkt einer hervorbringenden Kunst aufgefaßt werden. Andererseits sei aber auch das Haus Nachahmung, wenn man es in bezug auf seine Teilhabe (*methexis*) an der Idee des Hauses betrachtet, so wie erst recht die Zeichnung (als Darstellung) nicht nur Nachahmung der dargestellten Sache ist, sondern letztere wiederum auch auf die entsprechende Idee als das zugrundeliegende Seiende verweist. Durch diesen Verweis auf die Ideen als das eigentlich Seiende führt Platon einen zweiten, metaphysisch fundierten Mimesisbegriff ein, der sowohl die mimetischen als auch die (im engeren Sinne) poetischen Künste umfaßt. Die Aristotelische Doppelbestimmung der *techné*, einerseits als Nachahmung der Natur und andererseits als Vervollkommnung des in der Natur als Möglichkeit Angelegten, wo dieses "die Natur selbst nicht zu einem Abschluß zu bringen vermag" (*Phys.*, II.8, 199a 15-17), ist eine Übertragung dieses zweiten, metaphysisch fundierten Mimesisbegriffs auf die aristotelische Naturphilosophie. Während bei Platon der Bereich produktiver Tätigkeit durch das Reich der ewigen Ideen abgesteckt ist, begrenzt Aristoteles es nun durch seinen dynamischen Naturbegriff, d.h. durch das Reich der in der Natur angelegten Möglichkeiten. Es ist diese Festlegung einer "metaphysischen Identität von Sein und Natur" (Blumenberg 1957, S. 270), die jede Kunst als *mimesis* der Natur und nicht als *poiesis* des authentisch Neuen bestimmen läßt - mag sie nun mimetisch oder poetisch (im engeren Sinne) genannt werden.⁵

Während die (im doppelten Sinne) "poetischen Emanzipationsbestrebungen" der bildenden Kunst noch bis in unser Jahrhundert reichen, hat bereits zu Zeiten des Aristoteles diejenige *techné*, die sich mit der Entwicklung der in der Natur angelegten Möglichkeiten beschäftigt, einen hohen Grad an poetischer Produktivität (im engeren Sinne) erlangt. Das in der Natur dem Vermögen nach Seiende ist nämlich für Aristoteles der Stoff; die entsprechende Kunst wäre also die Stoffveredelungskunst. Tatsächlich kann die Herstellung neuer, nicht naturisierbarer Stoffe, worunter insbesondere Legierungen wie Bronze und zahlreiche Farbpigmente gehören, bereits Jahrtausende vor Aristoteles zur etablierten handwerklichen Praxis gezählt werden.⁶ Daher finden wir in Aristoteles' sog. "chemischen Traktat" (Düring 1944), dem 4. Buch der Meteorologie, seine einzige systematische Abhandlung über Arten technischer Naturvervollkommnung in Gestalt der Stoffveredelungsprozesse (Rösten, Sieden etc.). Er deutet sie jedoch als gleichartig zu den biotischen Gärungsprozessen durch Bezug auf die vermeintlich gemeinsame Ursache, die Wärmezufuhr (*Meteor.*, IV, 381a 10-12, 381b 3-9).

Zwar sind auch nach Aristoteles die Stoffveredelungsprodukte Ergebnis menschlicher *poiesis*, wie sie die Natur alleine u.U. nicht hervorzubringen vermag; doch die in der gleichen Ursache begründeten Analogie zwischen biologischen und technischen Entstehungsprozessen

⁵ Im Folgenden unterscheide ich mimetisch und poetisch im engeren bzw. pragmatischen Sinne, wie sie bereits von Platon in bezug auf Zeichen- und Baukunst verstanden wurden, von mimetisch und poetisch im weiteren bzw. metaphysischen Sinne, womit die Naturimmanenz bzw. -transzendenz der (im engeren Sinne) poetischen Produkte gemeint sein soll.

⁶ Vgl. z.B. Multhauf (1966, Kap. I), Singer/Holmyard/Hall (1954).

sichert ihm die universale Gültigkeit der Mimesisthese, und zwar nicht im engeren, sondern im weiteren Sinne. Denn wenn wir uns im poietischen Prozeß nur solcher Ursachen bedienen können, die auch in der Natur wirksam sind, führen wir immer Veränderungen durch, die auch in der Natur prinzipiell als möglich gedacht werden können. Diese Argumentation ist durch seine Elementenlehre metaphysisch abgesichert, denn jede Stoffumwandlung - ob natürlich oder technisch - kann nach Aristoteles letztlich nur über die Wechselwirkung der Grundqualitäten (kalt, warm, fest/trocken, flüssig/feucht) erfolgen. Damit ist aber andererseits auch schon der Schwachpunkt der Argumentation angedeutet, denn jede poietische Stoffveränderung, die sich nicht aus dieser Elementenlehre erklären läßt, droht die metaphysische Identität von Sein und Natur zu sprengen. Eine weitere Absicherung, die Aristoteles zwar nicht selber ausführt, aber leicht zu rekonstruieren ist, tritt hinzu: Das dem Vermögen nach Seiende ist für Aristoteles in letzter Instanz die *materia prima*, die reine Potentialität, die allen stofflichen Veränderungen als letztes Substrat zugrunde liegt. Alle stoffliche *poiesis* ist wie jede natürliche Stoffumwandlung auf die *materia prima* als letzte Stoffursache angewiesen. Durch die beiden Bezüge, auf die universalen Wechselwirkungen der Grundqualitäten und auf die *materia prima* als das universelle stoffliche Substrat, ist die Mimesisthese (im weiteren Sinne) für jede stoffliche *poiesis* metaphysisch verankert und innerhalb der Aristotelischen Naturphilosophie auch systematisch abgesichert.

Bereits Aristoteles' Schüler Theophrast hat sich im Gegensatz zu seinem Lehrer in seiner Schrift "Über die Steine" eingehender mit der zeitgenössischen metallurgischen und (im heutigen Sinne) chemischen *poiesis* beschäftigt; daher schätzt er die poietische Leistung höher ein und stellt fest: "zum Teil schafft die Kunst auch Eigenes" (ebd., 60). Das poietische Potential wird zwar hier immer noch im engeren Sinne verstanden, aber je stärker die Neuartigkeit künstlicher Stoffe ins Bewußtsein dringt, desto weiter rückt die metaphysische Mimesislehre in den Hintergrund. In keinem anderen poietischen Bereich verfestigt sich die bei Aristoteles nur angedeutete (pragmatische) Dichotomie natürliche versus künstliche Stoffe bereits im Mittelalter auf eine Weise, daß sie in ein spannungsreiches Verhältnis zu dem metaphysischen Dogma tritt. Trotz fehlender metaphysischer Absicherung wird die Unterscheidung zwischen natürlichen und künstlichen Stoffen zu einem konkurrierenden Dogma, das erst in den neuzeitlichen Korpuskulartheorien abgeschwächt wird, (Hooykaas 1947/48) aber noch bis ins 19. Jahrhundert in der Dichotomie organische versus anorganische Stoffe eine Fortsetzung findet.

Mit der Aufwertung der pragmatischen Unterscheidung geht eine Untergrabung der aristotelischen Naturphilosophie einher. Ein Schwachpunkt dieser Lehre ist nämlich ihre Erklärungsuntauglichkeit für die (im heutigen Sinne) chemischen Stoffumwandlungen. Zwar hatte Aristoteles für den (im heutigen Sinne) Wechsel von Aggregatzuständen eine Erklärung durch seine Elementenlehre geliefert (*Meteor.*, IV); aber alle anderen qualitativen (im heutigen Sinne chemischen) Stoffumwandlungsmöglichkeiten, die im Zuge des experimentellen Eifers der Alchemisten bekannt wurden, mußten unerklärt bleiben. Ob diese Erklärungsdefizite der ausschlaggebende Grund für die zunehmenden Bezüge der Alchemisten auf magische, natur-transzendente bzw. übernatürliche Ursachen (astrologische Einflüsse, okkulte Kräfte, "materialgerechte" Gestimmtheit des Adepten etc.) war,⁷ kann hier nicht erörtert werden. Die Vermutung liegt nahe, daß die Alchemisten durch diese Bezüge vor dem Hintergrund der mittelalterlichen Variante der metaphysischen Identität von Natur und Schöpfung Gottes dem Verdacht eines "Paktes mit den bösen Mächten" nur durch ihre ausgeprägte Geheimbündelei

⁷ Vgl. z.B. Read (1957); der magische Bezug aller Materialbearbeitungsformen (vom Ackerbau, über Bergbau und Schmiedekunst bis zur Alchemie) hat im übrigen auch archaische Wurzeln, wie von Eliade (1960) nachgewiesen wurde.

entrinnen konnten.⁸ Unabhängig von solchen Vermutungen kann aber festgestellt werden, daß die Alchemie mit ihrem (uns heute so "unwissenschaftlich" anmutenden) Bezug aufs Übernatürliche den antiken und mittelalterlichen Naturbegriff ausdrücklich transzendierte und damit auf eigene Weise die alchemistische Stoffumwandlungspraxis von der metaphysischen Mimesislehre emanzipierte. Die alchemistische Emanzipation verlief also bemerkenswerterweise ohne den (historiographisch überstrapazierten) Umweg über die mittelalterliche Analogie zwischen göttlicher und menschlicher Schöpfung und der daraus abgeleiteten Heroisierung der menschlichen Kreativität in der Renaissance.

Auch wenn der Bezug auf eine *prima materia* noch weitgehend gewahrt blieb, so wurde diese doch ganz unaristotelisch als experimentell isolierbarer Körper und eher in ihrer Funktion als Elixier oder als *lapis philosophorum*, d.h. als Inbegriff der (aktiven) Potentialität zur Veredelung anderer Stoffe, statt als materielle Grundlage der Natur im aristotelischen Sinne der reinen (passiven) Potentialität betrachtet. Vor dem Hintergrund dieser Emanzipation ist es dann verständlich, daß Paracelsus im Sinne einer kopernikanischen Wende (die über die Renaissance hinaus auf Kant verweist!) fordern konnte, nicht die Laborpraxis sei als Nachahmung der Naturprozesse, sondern die Naturprozesse seien umgekehrt in Analogie zu den wesentlich vertrauteren Laborprozessen zu interpretieren.⁹ Paracelsus' Forderung wurde dann zum Grundsatz moderner experimenteller Naturwissenschaft, die sich ihr Verständnis von Naturprozessen nur über den Umweg künstlich isolierter und extrem stilisierter Laborbedingungen verschafft. Damit war die stoffliche *poiesis* von ihrer metaphysischen Natureingebundenheit befreit: Sowohl die neuen stofflichen Produkte als auch die entsprechenden Herstellungsverfahren konnten, nachdem die Bezüge aufs Übernatürliche aufgegeben wurden, als authentisch menschliche Leistungen sowohl des menschlichen Geistes als auch seiner experimentellen Fertigkeiten betrachtet werden.

Die Einordnung der Chemie in den Kanon der Naturwissenschaften bleibt aufgrund ihrer poetischen Produktivität bis heute ein problematisches Unterfangen: "Die Chemie nimmt unter den Naturwissenschaften eine einzigartige Stellung ein, denn sie befaßt sich nicht nur mit Stoffen aus natürlichen Quellen, sondern sie erschafft den größten Teil ihrer Gegenstände durch Synthese. In dieser Hinsicht ähnelt die Chemie den Künsten, wie bereits vor vielen Jahren von Marcelin Bertholet festgestellt wurde; ihr Herstellungspotential ist erschreckend."¹⁰ In der Tat kennt die Chemie heute etwa 15 Millionen verschiedene reine Stoffe, wovon nur einige hunderttausend durch Naturisolierung gewonnen wurden (Hoffmann 1993, S. 68). Dabei haftet selbst den sog. "Naturstoffen" noch ein poetischer Charakter an, denn als chemisch bestimmter Stoff kann im Rahmen der chemischen Klassifikation nur ein solcher in Betracht kommen, an dem bereits bestimmte Operationen, sog. "Reinigungs-" oder "Isolierungsoperationen", durchgeführt worden sind. Und für diese reinen "Naturstoffe" gilt - oder galt bis vor etwa 40 Jahren -, daß sie erst dann zu den chemisch eindeutig charakterisierten

⁸ Die besonderen Affinität zwischen den experimentellen Wissenschaften und der Magie, die F. Bacon noch als praktische Metaphysik verstand, ist dokumentiert in dem 8-bändigen Werk Thorndike (1964).

⁹ Farber (1950, S. 21); siehe auch Farber (1938). Der somit an manipulative Handlungen geknüpfte Prozeßbegriff mußte dann später, um der Chemie auch den Status einer Naturprozesse beschreibenden und erklärenden objektiven Wissenschaft zu geben, wieder von seinen subjektivistischen Handlungsbezügen gereinigt werden; vgl. dazu Rötgers (1983).

¹⁰ Nobelvortrag von V. Prelog, zitiert nach Hargittai/Hargittai (1986, S. 1).

Stoffen gerechnet wurden, wenn sie zugleich auch als synthetische Stoffe im Labor hergestellt werden konnten.¹¹

Trotzdem wäre es voreilig, wollte man die Chemie als reine Technikwissenschaft kennzeichnen;¹² *poiesis* und *episteme* vereinigen sich nämlich in der Chemie auf besondere Weise. Das wird deutlich, wenn man die Struktur chemischer Eigenschaften näher betrachtet, die einen Gegenstand nicht in seinem isolierten Sosein, sondern stets in dynamischen Relationen zu anderen stofflichen Gegenständen, d.h. in chemischen Reaktionskontexten beschreiben. Das Potential mit bestimmten Reaktionspartnern unter bestimmten Bedingungen zu bestimmten Reaktionsprodukten zu reagieren, kennzeichnet den Gegenstand unter chemischen Gesichtspunkten; mit solchen Veränderungsdispositionen ist aber zugleich immer auch ein poietisches Wissen über das Herstellungspotential und das Herstellbarkeitspotential von Stoffen mitgegeben. D.h., chemische Erkenntnis liefert aufgrund ihrer besonderen Struktur ein Wissen darüber, welche Stoffe man aus welchen Stoffen herstellen kann, und weist damit stets über den jeweiligen Stoffbestand hinaus. Die Chemie knüpft über ihre chemischen Relationen ein komplexes und ständig erweiterbares Netzwerk, ein poietisch fundiertes Ordnungsschema, das über Hypothesen- und theoretische Modellbildungen auch die als möglich entworfenen Stoffe zu integrieren vermag. Über rein technische Zweckgesichtspunkte hinaus, welche die chemische Forschung ohne Frage stets begleiteten, liefert das poietische Potential der Chemie eine methodische Grundlage für eine erkennende, systematisch ordnende und theoretisierende Wissenschaft, die nicht so sehr über die "Natürlichkeit" ihrer Gegenstände, sondern über die Gemeinsamkeit und Ergänzungsfähigkeit der Methoden mit anderen Naturwissenschaft verbunden ist.

3. Der ästhetische Charakter der chemischen Hervorbringungen

Im letzten Abschnitt wurde der poietische Charakter der Chemie aus der Emanzipation von der antiken Mimesislehre entwickelt. Dabei konnte deutlich gemacht werden, daß die Chemie aufgrund ihres poietischen Charakters nicht einfach zu den Technikwissenschaften zu rechnen ist, sondern daß ihre jeden faktischen Stoffbestand transzendierenden Ordnungsstrukturen auch epistemische Zwecke verfolgen, etwa die Suche nach einer universellen, alle möglichen Stoffe umfassenden Ordnungsstruktur. Fragt man nach den Motiven für die enorme poietische Produktivität der Chemie der letzten hundert Jahre, dann wird man neben dem gesellschaftlichen Bedarf an geeigneten Werk-, Wirk- und Gebrauchsstoffen stets auch theoretische Fragestellungen finden, die nur behandelt werden konnten durch Synthese geeigneter Stoffe z.B. als paradigmatischer Untersuchungsgegenstände zur Entwicklung raffinierterer Modelle, oder als Bestätigungs- bzw. Widerlegungsfälle für bestimmte Theorien, klassifikatorische oder sogar metaphysische Dogmen etc.¹³ Darüber hinaus stößt man aber immer wieder auf Äußerungen von Chemikern, in denen ein gewisser Reiz bei der Synthese bestimmter Stoffe betont wird,

¹¹ Der Grund liegt in der chemischen Methode der Molekülstrukturaufklärung, nach der die Struktur eines Stoffes erst dann als aufgeklärt gilt, wenn dieser durch definierte und strukturmodellierete Syntheseschritte aus bereits bekannten Stoffen hergestellt werden kann. Seit etwa 40 Jahren haben sich physikalische Methoden (Spektroskopie, Röntgenbeugungsmethoden etc.) zur Strukturaufklärung durchgesetzt.

¹² So etwa Janich (1992, S. 80): "Chemie, von der Forschungspraxis und damit von menschlichen Handlungsbemühungen her betrachtet, ist primär eine Technikwissenschaft."

¹³ Da diese Fragen hier nicht weiter verfolgt werden können, verweise ich auf einschlägige Lehrbücher der Chemie; historisch aufschlußreich in dieser Hinsicht sind Ihde (1964, S. 330 ff.) sowie insbesondere Russell (1987).

wobei dieser Reiz gerade in jüngster Zeit mit ästhetischem Genuß in Verbindung gebracht wird (s.o.). Ich möchte daher die Frage untersuchen, ob und in welchem Sinne wir bestimmten chemischen Hervorbringungen einen ästhetischen Charakter zusprechen können. Um der Untersuchung eine gewisse Systematik zu geben, werde ich die chemischen Hervorbringungen in drei ontologische Kategorien einteilen (Stoffportionen, Moleküle und Molekülmodelle), die jeweils unter geeigneten ästhetischen Theorien untersucht werden sollen.

3.1 Stoffportionen

Die Hervorbringungen der Chemiker sind in erster Linie Stoffe, genauer: Stoffportionen, die unter stofflichen Gesichtspunkten durch eine Reihe von Stoffeigenschaften charakterisiert werden können.¹⁴ Auf der Herstellung von qualitativ völlig neuartigen Stoffportionen, die ganz neue, oft überraschende oder wundersame Stoffeigenschaften zeigen, gründet der Optimismus der poetischen Allmacht und damit die poetische Emanzipation der Alchemie/Chemie. Unter den Stoffeigenschaften, die hier für eine ästhetische Wahrnehmung in Frage kommen könnten, fallen insbesondere die sinnlichen Qualitäten des Geruchs, des Geschmacks und der Farbe.

Während die Parfümerie und die Kochkunst weitgehend bis heute auf der Komposition natürlicher bzw. naturisolierbarer Stoffe basiert und den synthetischen Geruchs- und Aromastoffen in der Regel ein ästhetischer Makel anhaftet, nimmt die Farbe insofern eine Sonderrolle ein, als bereits in altbabylonischer Zeit Farbstoffe für ästhetische Zwecke künstlich hergestellt wurden.¹⁵ Die Faszination an der synthetischen Farbe hat die gesamte Alchemie seit den alexandrinischen "Metallfärbern" durchdrungen und sie war letztlich auch der wichtigste Faktor bei der Gründung der modernen Industriechemie in Deutschland (Ihde 1964, S. 454 ff.). Die kommerzielle Verbreitung von lichtechten und z.T. sehr grellen synthetischen Textilfarbstoffen erbrachte der chemischen Industrie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts nicht nur ungeahnte Umsätze, sie dürfte auch infolge der Allgegenwärtigkeit von bunten Kleidern geradezu eine "farbästhetische Revolution" ausgelöst haben.

Damit ist aber schon die Grenze der ästhetischen Faszination an den Farbstoffen angedeutet: Die farbige Stoffportion ist nicht selber der ästhetische Gegenstand, sie dient statt dessen nur als Mittel zur "Verschönerung", indem sie auf andere Gegenstände aufgetragen wird oder diese durchtränkt. Bei dieser ästhetischen Instrumentalisierung darf die farbige Stoffportion nicht die Form des zu "verschönernden" Gegenstandes verändern, allenfalls durch Farbkombination stärker pointieren.¹⁶ Der resultierende ästhetische Gegenstand erwächst nicht aus

¹⁴ Die Alltagssprache differenziert leider nicht genau zwischen Stoffportionen und Stoffen, wie es vom philosophischen Standpunkt aus wünschenswert wäre. Eine Stoffportion, -menge oder -probe ist ein konkreter Gegenstand, insofern er unter stofflichen Gesichtspunkten betrachtet wird. Ein bestimmter Stoff ist demgegenüber der Inbegriff aller Stoffeigenschaften einer Stoffportion, also ein abstrakter, intensionaler Gegenstand. Welche Eigenschaften zu den Stoffeigenschaften gezählt werden, hängt im Detail von der kulturell geprägten (Sub-)Perspektive ab; in jedem Fall wird dabei aber von der räumlichen Größe und in der Regel auch von der räumlichen Struktur des konkreten Gegenstandes abstrahiert.

¹⁵ Multhauf (1966, S. 19) datiert das erste synthetische Farbpigment, ein blaues Kalzium-Kupfer-Silikat, ins 3. Jahrtausend v. Chr.

¹⁶ In Kants Ästhetik (1799, S. 42) wird die ästhetische Diskreditierung der Farbe besonders deutlich: "In der Malerei, Bildhauerkunst, ja in allen bildenden Künsten, in der Baukunst, Gartenkunst, sofern sie schöne Künste sind, ist die *Zeichnung* das Wesentliche, in welcher nicht, was in der Empfindung vergnügt, sondern bloß, was durch seine Form gefällt,

der Komposition von verschiedenen Stoff- bzw. Materialportionen; vielmehr erfüllt die aufgetragene oder eingedrungene Farbe sogar die Funktion, die (visuell erschließbare) stoffliche Bestimmtheit des ursprünglichen Gegenstandes zu verdecken. M.a.W.: Farbstoffportionen sind nicht nur selber keine ästhetischen Gegenstände, ihre ästhetischer Zweck als Färbemittel besteht sogar in der stofflichen Neutralisierung.

Daß das Stoffliche ohne ästhetischen Reiz ist, ja daß der Stoff wegen seine Formlosigkeit bzw. -abstrahiertheit geradezu der Inbegriff des Häßlichen ist, wie Plotin es radikalisierte, und daher im Kunstwerk zurücktreten bzw. überwunden werden muß, ist ein Grundsatz der aus der (neu-)platonischen Philosophie entwickelten idealistischen Ästhetik,¹⁷ der sich bis weit ins 19. Jahrhundert in einem einstimmigen Chor artikulierte:

"Der Stoff wird gleichsam zur Verleugnung seiner selbst gezwungen, insofern er nur dem Zwecke dienstbar gemacht wird, ein so stoffloses Gebilde, wie die dem Gesichtssinn sich darstellende Gestalt der Dinge an sich zum Ausdruck zu bringen." (Fiedler 1942, S. 116)

"Denn der Geist [...] will sinnliche Gegenwart, die zwar sinnlich bleiben, aber ebenso sehr von dem Gerüste seiner bloßen Materialität befreit werden soll." (Hegel 1967, S. 63)

"Darum gehört nun diese Absonderung, diese Trennung der Form von der Materie, zum Charakter des ästhetischen Kunstwerks; eben weil dessen Zweck ist, uns zur Erkenntnis einer (Platonischen) Idee zu bringen. Es ist also dem Kunstwerk wesentlich, die Form allein, ohne die Materie zu geben, und zwar dies offenbar und augenfällig zu tun." (Schopenhauer, 1977, § 209)

"Darin besteht also das eigentliche Kunstgeheimnis des Meisters, *daß er den Stoff durch die Form vertilgt*". (Schiller 1795, S. 62)

Erst seit Mitte des 19. Jahrhunderts gelangten die expressiven, darstellenden und symbolischen, ja sogar stilbildenden Eigenschaften der Materialien zu Bewußtsein der bildenden Künstler, zunächst in der Architektur, später in der Bildhauerei und schließlich auch in der Malerei, bis der Ruf nach "Materialgerechtigkeit" eine neue, der idealistischen Ästhetik entgegengesetzte "materialistische Ästhetik" einzufordern schien.¹⁸ Da die Instrumentalisierung des (Farb-)Stoffes ihre stärkste Ausprägung in der Malerei (mit Ausnahme der Zeichnung) besaß, war bei der Aufwertung der Materialität eines Gemäldes die größte Spannung und damit auch der tiefste Bruch mit der Tradition zu erwarten. Denn mit der Hervorhebung des Materials verliert das Kunstwerk an Darstellungsfunktion, es wird (wie schon Platon wußte) selbst zur Sache, zum ästhetischen Gegenstand im Sinne eines neuen Realismus.¹⁹

den Grund aller Anlage für den Geschmack ausmacht. Die Farben, welche den Abriß illuminieren, gehören zum Reiz; den Gegenstand können sie zwar für die Empfindung belebt, aber nicht anschauungswürdig und schön machen".

¹⁷ Vgl. Bandmann (1969: 83), der diesen Grundsatz sogar bis auf Ovid ("opere superante materiam", Metamorphosen II, 5) zurückführt.

¹⁸ Vgl. Odebrecht (1935), Bandmann (1969; 1971), Kemp (1975).

¹⁹ Kulminationen dieser die expressive "Abstraktheit" erst ermöglichenden Tendenz zur Materialaufwertung in der Malerei sind z.B. die *matter paintings* der Pariser Schule der Nachkriegszeit (Jean Dubuffet, Antoni Tàpies u.a.) oder der Italiener Antonio Burri und

Sollten wir nun der Chemie auf der Grundlage einer "Materialästhetik" zu einem Recht als schöne Kunst verhelfen können. Da eine solche Ästhetik bis heute noch nicht geschrieben ist,²⁰ kann eine Antwort nur provisorischen Charakter tragen; zwei Einwände sprechen dagegen.

1. Die seit über hundert Jahren kultivierte Aufwertung des Materials in der bildenden Kunst hat sich als eine graduelle Angelegenheit erwiesen: in dem Maße, in dem die Stofflichkeit in den Vordergrund rückt, treten Formbestimmtheit und kompositorische Momente zurück, ohne daß diese allerdings gänzlich verloren gehen. Eine Materialkomposition (etwa von Beuys) bezieht ihren ästhetischen Charakter zwar wesentlich aus der Ausdruckskraft und dem Symbolgehalt der verwendeten Materialien, aber als größen- und formabgestimmte Komposition verschiedener Materialportionen ist sie eben nicht mit isolierten Stoffportionen, wie sie Chemiker produzieren, zu verwechseln. Und selbst die formärmste, isolierte Portion Fett und die durch Flaschenabfüllung formneutralisierte Masse behalten immer noch ein zentrales kompositorisches Moment über den räumlichen und situativen Kontext, in den sie gestellt sind.

2. Ein zweiter Einwand leitet sich bemerkenswerter Weise aus der Kreativität der Chemiker bzw. aus der Neuartigkeit ihrer stofflichen Produkte ab. Das Material kann nur "zu uns sprechen" (so die Formel der Vertreter der "Materialgerechtigkeit"; vgl. Bandmann 1969, S. 97), wenn wir es mit einem assoziativen oder symbolischen Kontext verbinden können. Kemp (1975, S. 29) hat für die kunsttheoretische Analyse eine (freilich noch provisorische) Liste von Faktoren entworfen (, die natürlich nicht hinreichende, sondern jeweils nur notwendige Bedingung sein können für die ästhetische Bedeutung von Materialien): der ökonomische Wert, die Verbreitung und die Gebrauchs- bzw. Funktionsdimensionen, die struktiven, technologischen und imitatorischen Eigenschaften, die magische bzw. materialfetischistische Bedeutung im kulturhistorischen Rahmen, die symbolische bzw. ikonographische Vorgeschichte, die kunsthistorische Signifikanz. Bezüglich aller dieser Faktoren bleiben die neuen Stoffe der Chemiker aber aufgrund ihrer radikalen Neuheit, ihrer kulturellen Nicht-Etabliertheit "sprachlos".

Beide Einwände, der Mangel an kompositorischen Momenten und an kultureller Kontextverbundenheit, lassen sich aber u.U. unterlaufen, wenn man die poetische Produktivität auf die Neukomposition wohletablierter Stoffeigenschaften bezieht, d.h., wenn man die Eigenschaften als kompositorische Elemente substantialisiert. Die Beherrschung des Reichs der Stoffe durch beliebige Zufügung und Wegnahme, d.h. durch freie Komposition der Stoffeigenschaften in einer einzelnen Stoffportion, das war der alte alchemistische Allmachtstraum, in dem die Goldherstellung nur eine Sonderrolle spielte; und es scheint, als wäre die Chemie heute diesem Ziel ein großes Stück näher gerückt. Im freien Spiel der Stoffeigenschaftskomposition - so können wir als spekulativen Ausblick unsere Teiluntersuchung über die ästhetische Bedeutung der Stoffpoiesis schließen - ließe sich ein Betätigungsfeld eröffnen, auf dem sich die Chemie vielleicht als schöne Kunst bewähren könnte.

Lucio Fontana sowie die amerikanischen *action paintings* von Jackson Pollock u.a., die nicht die Farbstoffe "in Formen zwingen", sondern die Formgebung durch die dynamischen Stoffeigenschaften (z.B. Viskosität) mitbestimmen lassen und damit einen gestischen Ausdruck festzuhalten vermögen (vgl. Everitt 1977).

²⁰ Unter "Materialästhetik" verstehe ich hier nicht wie üblich eine am Historischen Materialismus orientierte Ästhetik, sondern eine ausgearbeitete Theorie die das künstlerische Material als ästhetische Kategorie systematisch behandelt.

3.2 Moleküle

Bemerkenswerterweise sind es nicht Stoffe, sondern Moleküle, für die alle Vertreter der Chemikerkunft, die sich zu unserem Thema überhaupt zu Wort gemeldet haben, künstlerische Kreativität und Schönheit beanspruchen, und dies übrigens mit einem auffallenden Schweigen über die sinnlichen Eigenschaften der jeweils zugeordneten Stoffe. Nun sind aber Moleküle gar nicht der sinnlichen Wahrnehmung zugänglich, vielmehr wird ihre Struktur durch eine auf Konsistenz ausgerichtete theoretische Interpretation unterschiedlichster Stoffeigenschaften erschlossen. Damit scheint sich aber die Entscheidung aufzudrängen, daß wir ein Molekül, wenn wir es als schön bezeichnen wollen, nicht als sinnlich wahrnehmbaren Gegenstand (*aistheton*), sondern als ideellen, nur dem Denken zugänglichen Gegenstand (*noëton*) aufzufassen haben, denn die Kunsttheorie hat uns neben *aistheta* und *noëta* keine dritte geeignete ontologische Kategorie für ästhetische Gegenstände geliefert. Wollte man aber die chemische *poiesis* auf den Entwurf schöner Ideen reduzieren, dann würde das mit Recht den Protest der Chemiker hervorrufen, daß ihre Arbeit nicht nur denkerischer, sondern gerade auch experimentell-praktischer Natur ist, wie ihre stofflichen Hervorbringungen beweisen. Zur Beantwortung der Frage, ob und in welchem Sinne Moleküle ästhetische Gegenstände sind, bleiben zwei Alternativen übrig: Entweder muß man die Frage verneinen, weil Moleküle in keine kunsttheoretische Kategorie für ästhetische Gegenstände passen, oder man versucht, eine neue Kategorie zu bilden.²¹

Für die Bildung einer neuen Kategorie können wir überraschenderweise direkt auf Platons "Naturästhetik" Bezug nehmen - wenn man seine Bezüge auf das Schöne in der Naturphilosophie des *Timaios* so nennen darf. Ja, es scheint sogar, als könnten wir damit der an Platon orientierten Kunsttheorie den Vorwurf einer schwergewichtigen Unterlassung machen. Denn was Platon ausdrücklich als die *schönsten Körper im Reich der Körper* (*Tim.*, 53e) nennt, sind nicht Menschen, Tiere, Pflanzen, Landschaften oder was die bildende Kunst sonst noch der Natur nachzuahmen bestrebt war; es sind vielmehr die aufgrund ihrer Kleinheit nicht wahrnehmbaren (*Tim.*, 56 b/c) Körper mit der Gestalt der regelmäßigen Polyeder, die er als kleinste körperliche Bausteine der alle Körper bildenden vier stofflichen Elemente Erde, Wasser, Luft und Feuer betrachtet: winzige Kuben, Ikosaeder, Oktaeder und Tetraeder (*Tim.*, 53c-56c). Platons schönste Körper sind also weder *aistheta* noch *noëta*, sondern sie gehören zur Erscheinungswelt, ohne aufgrund ihrer Kleinheit selbst wahrnehmbar zu sein; sie werden, wie Platon betont, nur durch Notwendigkeits- und Wahrscheinlichkeitsüberlegungen (*enagke* und *eikasia*; *Tim.*, 53d) erschlossen; moderner gesprochen: sie tragen einen hypothetischen Charakter.²² Solche Gegenstände fasse ich im folgenden unter die Kategorie der *hypotheta*, zu der sich nun ohne Schwierigkeiten auch die Moleküle der Chemiker rechnen lassen.

²¹ Einen Ausweg aus diesem Dilemma, nicht die Moleküle, sondern Darstellungen der Molekülideen als die eigentlich ästhetischen Gegenstände aufzufassen, werde ich im nächsten Abschnitt diskutieren.

²² Die damit implizierte Rede von der "hypothetischen Existenz" ist natürlich insofern ganz unplatonisch, als für den Rationalisten Platon das Reich der körperlichen Dinge insgesamt zum uneigentlichen Sein gehört. Immerhin unterscheidet er aber in seinem Liniengleichnis (*Pol.*, 509d ff.) mit Bezug auf dieses uneigentliche Sein zwischen den Erkenntnisarten aufgrund des Glaubens (*pistis*) und der Wahrscheinlichkeit (*eikasia*); und dies können wir in empiristischer Uminterpretation als eine Unterscheidung zwischen sinnlicher Gewißheit und Hypothese auffassen, wobei die Hypothese hier durch Notwendigkeitsüberlegungen (*enagke*) gestützt wird. Weil ihr Sosein aufgrund ihrer Teilhabe an mathematischen Ideen andererseits nur durch mathematische Verstandesüberlegungen (*dianoia*) erschlossen wird, haftet den regelmäßigen Körpern also ein eigentümlicher ontologisch-erkenntnistheoretischer Doppelcharakter aus *eikasia/enagke* und *dianoia* an.

Die kunsttheoretische Ignoranz der *hypotheta* war entschuldbar, solange noch keine chemische Strukturtheorie entwickelt war, die jedem reinen Stoff eindeutig eine Struktur als *hypotheton* zuzuordnen erlaubte. Seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts stand aber eine solche Theorie zur Verfügung, und damit einer poetischen Emanzipation der platonischen Naturästhetik nichts mehr im Wege. Die Chemie erweist sich damit als exakt diejenige Kunst (*techne*), die das Reich der schönsten (Natur-)Körper Platons für poetische Aktivitäten zugänglich gemacht hat. Daher kann es kaum verwundern, daß die Chemie dieses poetische Betätigungsfeld auch in den Dienst der Herstellung des Schönen zu stellen versucht hat. Und der Bezug auf Platon macht es darüber hinaus verständlich, warum Chemiker über Jahrzehnte an der chemischen *poiesis* der platonischen Körper gearbeitet haben; denn: "Schon der ästhetische Reiz der hochsymmetrischen platonischen Kohlenwasserstoffe kann ein Grund sein, Synthesen derart ungewöhnlich gebauter Verbindungen zu planen und auszuführen."²³

Die "platonischen Körper" sind für Platon aber nur schön, insofern sie an der ursprünglichen Schönheit der zugeordneten mathematischen Ideen teilhaben, die alleine erkannt werden können. Mit der Herstellung dieser Körper - seien sie nun von Demiurgen- oder von Chemikerhand geschaffen - kommt lediglich ein Abbild (*eidolon*) hinzu, es wird aber nichts neuartig Schönes geschaffen. Eine Chemie, die ihre poetische Tätigkeit ganz auf die molekulare Nachbildung ideal vorgegebener Strukturen konzentriert, bindet sich also im Gegensatz zur Stoffpoiesis streng an die metaphysische Mimesislehre Platons und entsagt damit jeder Kreativität. Während die spätere Ästhetik eine Legitimation der schönen Kunst gegen den Kunstpessimismus Platons darin finden konnte, daß durch die Herstellung eines *aistheton* auf die entsprechende schöne Idee verwiesen und damit eine ästhetische Bildung bzw. Erziehung möglich sei, entziehen sich die chemischen *hypotheta* einer direkten Anschauung. Weder kommt etwas neuartig Schönes hinzu, noch werden wir über die Anschauung auf eine schöne Idee verwiesen. Die Erschließung der schönen Gestalt bleibt alleine denjenigen vorbehalten, welche die Technik der Strukturaufklärung gelernt haben. Ist die Chemie also eine schöne Kunst ausschließlich für Chemiker, die sich einen esoterischen Zugang zu altbekannten schönen Ideen erarbeitet haben, während diese doch so viel einfacher zu veranschaulichen sind? Es scheint, als hätte die Kunsttheorie die Kategorie der *hypotheta* also doch mit guten Gründen ausgeklammert.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß die Moleküle der Chemiker bei einer Transformation der Platonischen Naturästhetik auf die Kunst zwar in ausgezeichneter Weise als Kandidaten für ästhetische Gegenstände in Frage kommen; aber eine so verstandene Kunst bliebe nicht nur im Banne der metaphysischen Mimesislehre auf nicht kreative Weise an einfache Strukturideen gebunden, insbesondere muß auch fraglich bleiben, ob der esoterische und überaus umständliche Zugang zu den Ideen noch als künstlerische Veranschaulichung der Ideen verstanden werden kann.

3.3 Molekülmodelle

Als dritte Kandidaten für ästhetische Hervorbringungen der Chemie möchte ich Molekülmodelle diskutieren; darunter sollen alle sinnlich wahrnehmbaren Gegenstände (*aistheta*) verstanden werden, die in der Chemie zur Veranschaulichung der Strukturideen von Molekülen verwendet werden: z.B. Molekülstrukturzeichnungen, -Computergraphiken, dreidimensionale Molekülmodelle aus Kunststoff etc. Da Molekülmodelle als *aistheta* zur gleichen Kategorie gehören wie die Hervorbringungen der bildenden Kunst, steht die Untersuchung vor der Gefahr, sich in unzählige ästhetische Theorien zu verstricken. Eine Auswahl wird folglich un-

²³ Grahn (1981, S. 61); platonische Kohlenwasserstoffe sind Kohlenwasserstoffe, deren zugeordnete Moleküle ein den platonischen Körpern entsprechendes Gerüst aus Kohlenstoffatomen aufweisen.

umgänglich sein und wird unser Untersuchungsergebnis auf die herangezogenen Theorien beschränken. Damit die Auswahl aber nicht völlig willkürlich ist, werde ich sie unter einen systematischen Gesichtspunkt stellen. Zuerst werde ich Molekülmodelle als mögliche Kunstwerke im Rahmen der klassischen idealistischen Ästhetik hinsichtlich ihrer Darstellung- oder Verweisungsfunktion auf *noëta* ernst nehmen; das ist gewissermaßen der traditionelle "kunstinterne" Kontext. Zweitens werde ich Molekülmodelle als Symbole innerhalb des chemischen Symbolkontexts auf ihren ästhetischen Charakter befragen; dazu bietet sich Goodmans Symboltheorie an, weil diese auf radikale Weise den Unterschied zwischen Kunst und Wissenschaft einebnet. Drittens wähle ich eine Theorie, die das Ästhetische gerade in der Verknüpfung verschiedener Kontexte sucht, und dazu scheint mir - nicht zuletzt wegen der kriterialen Ausarbeitung, die für eine Untersuchung notwendig ist - der semiotische Ansatz von Eco geeignet zu sein.

3.3.1 Idealistische Ästhetik und Symmetrie

Im Rahmen der an Platon orientierten idealistischen Ästhetik wären Molekülmodelle nur insoweit als schön aufzufassen, als sie zugleich auch Veranschaulichungen von schönen Strukturideen (*noëta*) sind. Damit kommt aber das spezifisch Chemische der als schön befundenen Hervorbringungen abhanden, denn zur Veranschaulichung von Strukturideen ist der Bezug auf chemische Moleküle kontingent. Die Kinderzeichnung eines Würfels wäre dann in gleicher Weise als schön zu bezeichnen wie die Chemikerzeichnung von Kuban. Der Bezug zur Chemie tritt hier lediglich als *nicht-ästhetisches*, sekundäres Auswahlkriterium hinzu, daß nämlich von den schönen Strukturmodellen nur solche hergestellt werden dürfen, die zugleich auch chemische Moleküle darstellen. Wenn der Bezug auf die Chemie aber kontingent ist, dann kann die idealistische Ästhetik kaum als Garant dienen, um die Chemie als eine schöne Kunst auszuweisen.

Ist somit diese Teiluntersuchung sehr rasch zu einem negativen Ergebnis gelangt, so bietet der Verweis auf Platon Gelegenheit, die Frage nach der Symmetrie als ästhetisches Merkmal in einem Exkurs zu behandeln. Was Platon an seinen Körpern als schön erachtete, daß ist ihre Symmetrie, ihre einfache mathematische Formbestimmtheit. Epistemische Kriterien (einfache mathematische Beschreibbarkeit) und ästhetische Kriterien sind hier in pythagoreischer Tradition noch unlösbar miteinander verschränkt. Ganz in diesem Sinne scheint auch der Chemiker Hoffmann bei seiner "empirical inquiry into what one subculture of scientists, chemists, call beauty" (Hoffmann 1990, S. 191) zu sprechen, wenn er feststellt, das 1982 synthetisierte Dodekahedran sei "simply beautiful and beautiful simple [...] simple, symmetrical, and devilishly hard to make" (ebd., S. 192). Damit drängt sich die Frage auf, ob bzw. in welchem Sinne Symmetrie als ästhetisches Kriterium gelten kann. Um die Untersuchung nicht ins Uferlose zu treiben werde ich mich auf die hier allein relevante Frage beschränken, ob exakte mathematische Symmetrie im Sinne der Gruppentheorie als hinreichende Bedingung für Schönheit gelten kann.²⁴

Nimmt man Platon selber als Vertreter einer solchen Radikalposition, dann muß man feststellen, daß bereits zeitgenössische bildende Künstler aus wahrnehmungstheoretischen Gründen von diesem mathematischen Purismus abweichen, weil die ideal proportionierten

²⁴ In der Mathematik werden die Symmetrieeigenschaften eines (endlich ausgedehnten) Objekts durch die Menge aller Operationen (Spiegelung an einer Ebene, Drehung um eine Achse mit bestimmtem Winkel, Drehung mit anschließender Spiegelung, Inversion über einen Punkt) beschrieben, die man (virtuell) an einem Gegenstand durchführen kann, wobei das resultierende Objekt mit dem Ausgangsobjekt kongruent sein muß. Die Operationen heißen Symmetrieelemente, sie bilden zusammen für jedes Objekt eine charakteristische Symmetriegruppe.

Formen durch perspektivische Verkürzungen gar nicht als ideal proportioniert wahrgenommen werden können.²⁵ Gleichwohl spielt die mathematisch einfache Bestimmtheit in Gestalt von festgelegten Längenmaßverhältnissen in Bildhauerei (durch Polyklets Lehren) und Architektur (durch Vitruvs Lehren) in der Antike eine zentrale Rolle, und sie wird mit neuer Euphorie in der Renaissance wiederentdeckt. Was aber dort *symmetria* (von *syn m'etron*) und hier *pro portione* genannt wurde, das waren keine durch Symmetrieelemente charakterisierten geometrischen Figuren, sondern durch Längenverhältnisse *arithmetisch* beschreibbare Körper. Trotz seiner geringen Beachtung ist dieser Unterschied doch kunsthistorisch höchst bedeutsam, denn ein Leonardo oder Le Corbusier hätte kaum den Menschen zum Vorbild für neue geometrische Symmetrien nehmen können, wohl aber zum Vorbild für neue Maßzahlenverhältnisse in der bildenden Kunst.

Mathematische Symmetrieelemente spielen in den bildenden Künsten eigentlich nur in der Architektur und besonders in der Ornamentik eine Rolle, und auch hier findet man lediglich Spiegelebenen, Translationssymmetrie und manchmal Drehachsen (Arnheim 1988, S. 8). Sie werden dort gezielt oder epochal bedingt als Stilmittel zum Ausdruck von Ordnung, Ruhe und Stabilität eingesetzt und meistens kontrapostisch zur bewegten Umgebung gestellt. Während das hochsymmetrische Ornament in der Regel nur als Ruhepol im Ganzen oder als Dekoration dient, wird man im noch so symmetrisch erscheinenden Bauwerk in den seltensten Fällen einen Symmetriebruch vermissen. In der Malerei dürfte es sogar schwer sein, Beispiele zu benennen, bei denen mathematische Symmetrie zum Thema wird.²⁶ Wäre mathematische Symmetrie eine hinreichende Bedingung für Schönheit, und würde der Grad der Schönheit eines Kunstwerks an der Zahl seiner Symmetrieelemente meßbar sein, dann würden alle auf Schönheit ihrer Werke bedachten Künstler Kugeln herstellen,²⁷ was freilich jeder entsprechende Automat besser zustand bringt.²⁸

Der überwiegende Mangel an mathematischen Symmetrieelementen in der bildenden Kunst mag als empirischer Beleg gegen die Ausgangsthese gelten. Die Kunsttheorie geht noch härter mit der mathematischen Symmetrie zu Gericht. Im Rahmen der Kantschen Ästhetik dienen regelmäßige geometrische Körper als begründete Beispiele des Nicht-Ästhetischen: "Alles Steif-Regelmäßige (was der mathematischen Regelmäßigkeit nahe kommt) hat das

²⁵ Dagegen opponiert Platon bereits scharf mit dem Vorwurf der Trugbildnerie (*Soph.*, 236 b).

²⁶ Die bekannte Ausnahme bilden natürlich die Werke von M.C. Escher. (Das wissen auch die Chemiker Vögtle (1989a, S. 13 ff.), Heilbronner & Dunitz (1993, S. 7), Hargittai & Hargittai (1986, S. 48 u.a.) und Hargittai (1988, S. 158)). Aber bei Escher steht die mathematische Symmetrie nicht alleine, sondern in einer Verschränkung mit ikonographischen Elementen, die übrigens oft alchemistische Wurzeln erkennen lassen.

²⁷ Über entsprechende Phantasien in der Architektur insbesondere des 18. Jahrhunderts, berichtet Vogt (1988). Die Kugelform, die wir auch heute noch in Sternwarten und Planetarien finden, ist hier allerdings im Rahmen der Kosmosymbolik zu deuten; dieser naturphilosophische Bezug findet im 18. Jahrhundert einen Höhepunkt in den architektonischen Entwürfen von Boullées "Newton-Denkmal".

²⁸ Einige Werke des *minimal art*, z.B. von Donald Judd, scheinen diese These zu unterlaufen, weil hier die Annäherung an mathematische Symmetriemaßstäbe bis zur handwerklichen Perfektion getrieben wird. Aber *minimal art* verlangt eben eine gesteigerte Aufmerksamkeit für minimale Differenzen; und diese wird hier gerade auf die unüberbrückbare Differenz zwischen idealer mathematischer Symmetrie oder der automatisch perfektionierten Reproduzierbarkeit einerseits und der durch Symmetriebrüche jeder handwerklicher Ausführung erreichten Einmaligkeit andererseits gelenkt.

Geschmackswidrig an sich: daß es keine lange Unterhaltung mit der Betrachtung desselben gewährt, sondern [...] lange Weile macht."²⁹ Ganz in diesem Sinne schreibt auch Gombrich (1988, S. 104): "sobald das Ordnungsprinzip erfaßt wird, können wir das Gebilde ja auch jederzeit auswendig rekonstruieren. [... Wir sehen] uns leicht daran satt, es bietet uns ja bald keine Überraschungen mehr". Mathematische Symmetrie - darin scheinen sich zumindest die meisten Kunsttheoretiker einig zu sein - spielt in der Kunst keineswegs die Rolle eines anzunähernden Ideals. Sie dient statt dessen entweder als Spannungspol, dessen Gegenpol Unordnung, Bewegung oder Asymmetrie darstellt, oder als Ordnungsmatrix, an der sich ein Kunstwerk durch seine spezifischen Ordnungs- bzw. Symmetriebrüche in seiner Einzigartigkeit begreifen läßt.³⁰ So schreibt z.B. der Kunsthistoriker Frey (1949, S. 277-8) resümierend *Zum Problem der Symmetrie in der bildenden Kunst*: "In der Spannung zwischen Symmetrie und Asymmetrie, zwischen In-sich Beruhen und Gerichtet-sein, zwischen Ausgewogenheit und Antrieb, zwischen Beharrung und Bewegung, zwischen Sein und Werden ist das entscheidende Agens [der künstlerischen Gestaltung] gegeben". Darauf nimmt auch der Kunstpsychologe Arnheim (1988, S. 8, 15) Bezug, wenn er meint, "daß Symmetrie Ruhe und Bindung bedeutet, Asymmetrie hingegen Bewegung und Lösung. Ordnung und Gesetz in jener, Willkür und Zufall in dieser; Erstarrung und Zwang in jener, Lebendigkeit, Spiel und Freiheit in dieser. [...] Was Symmetrie von Asymmetrie unterscheidet, ist also offenbar das bloße Verhältnis zwischen Gleichgewicht und gerichteten Kräften. Im einen Extremfall würde dies Verhältnis die Starre des gänzlichen Stillstandes mit sich führen, im anderen Extrem die ebenso furchterregende Formlosigkeit des Chaos. Irgendwo aber auf der Stufenleiter zwischen diesem beiden Extremen findet jeder Stil, jeder Einzelne und jedes Werk seinen eigenen, besonderen Platz." Ähnlich sieht auch Gombrich (1988, S. 114, 113) die Kunst im "Widerspiel zwischen Symmetrie und Asymmetrie" als "Kampf gegen zwei gleich mächtige Gegner, das ungeformte Chaos, dem wir Entsprechungen auferlegen, und die allzu geformte Monotonie, die wir durch neue Akzente beleben". Die These der Ordnungsmatrix zur Heraushebung der Einzigartigkeit durch Ordnungsbruch macht z.B. die Musiktheoretikerin de la Motte-Haber stark: "Es folgte die Kunstproduktion einer grundsätzlichen geistigen Haltung, die die Erklärbarkeit aller Dinge voraussetzte und das Unvorhergesehene, Nicht-Berechenbare nur auf dem Hintergrund von Ordnungen als Regelverletzungen duldete."³¹

²⁹ Kant (1799, S. 72); der Geschmack ist für Kant das Vermögen zur Beurteilung des Schönen (ebd., S. 3); geschmackswidrig ist also etwas, was sich dem Vermögen widersetzt und damit einer ästhetischen Beurteilung entzieht.

³⁰ In der Kunsttheorie ist der Begriff der Symmetrie aus verständlichen Gründen in der Regel wesentlich weiter gefaßt als in der Mathematik. Spiegelsymmetrie bedeutet dann nicht exakte Formkongruenz bei Spiegeloperationen, sondern nur metaphorisch eine Entsprechung von Elemente auf beiden Seiten oder noch weiter gefaßt: eine Ausgewogenheit der Seiten, wobei kompositorische Form- und Farbelemente mit Bedeutungsgehalten auf eine nicht weiter formalisierbare Weise gegeneinander verrechnet werden. Versteht man den Ausdruck "Symmetrie" schließlich im Sinne einer Stimmigkeit oder Ausgewogenheit der Teile zu einem (harmonischen) Ganzen, dann ist er Symmetriebegriff so weit, daß fast jedes Kunstwerk darunter fallen könnte; aber mit mathematischer Symmetrie, die hier alleine betrachtet werden soll, hat das kaum noch etwas gemeinsam. Instrukтив über Differenzen des Symmetriebegriffs in verschiedenen Disziplinen und der daraus resultierenden Gefahr von Mißverständnissen ist die Dokumentation der interdisziplinären Symposiumsdiskussionen in Wille (1988).

³¹ de la Motte-Haber (1988, S. 29); ähnlich auch schon Adorno (1970, S. 237): "Asymmetrie ist, ihren kunstsprachlichen Valeurs nach, nur in Relation auf Symmetrie zu begreifen."

Wenn also mathematische Symmetrie weder als ästhetisches Ideal noch als Kriterium gelten kann, wie sind dann Äußerungen von Chemikern zu deuten, die gerade daran die Schönheit ihrer Molekül(modell)e bemessen? Sollen wir diese Chemiker nach Frey, Arnheim, Gombrich, de la Motte-Haber u.a. am äußersten Ende einer kunstpsychologischen Skala lokalisieren und das ästhetische Empfinden der Chemiker durch einem extremen Ordnungsfetischismus erklären?³² Eine andere, sehr viel ältere Erklärung bietet sich als Alternative an, nämlich die Kantsche These der Verwechslung von Erkenntnisbefriedigung und ästhetischer Befriedigung: "Man ist gewohnt, die erwähnten Eigenschaften sowohl der geometrischen Gestalten als auch der Zahlen [...] Schönheit zu nennen, [...] Allein es ist keine ästhetische Beurteilung, [...]; sondern eine intellektuelle nach Begriffen."³³ Wenn naturwissenschaftliches Streben darauf ausgerichtet ist, möglichst einfache mathematische Beschreibungsformen zu finden, dann findet dieses Streben sowohl in einfachen algebraischen Strukturen (wie in der Physik, demonstriert von McMorris (1970), Zee (1990) u.a.) als auch in einfachen geometrischen Formen (wie z.B. in der Chemie) eine Befriedigung.³⁴ Aber diese Befriedigung wäre, wenn man mit Kant die antike Verschränkung von Ästhetik und Erkenntnis auflöst, nicht ästhetischer, sondern (in Kantschen Worten) intellektueller Natur, weil sie Phänomene durch strukturierende Einordnung auf Begriffe bringt. Mit der Kunst hätte die chemische *poiesis* dann nur so viel gemeinsam, als beide die Gegenstände ihrer jeweiligen Befriedigung selbst hervorbringen.³⁵

3.3.2 Goodmans symboltheoretische Ästhetik

Um den chemischen Bezug der Molekülmodelle zurückzugewinnen, müssen wir die idealistische Ästhetik verlassen. Eine Ästhetisierung der Modelle scheint vielversprechender im Rahmen einer ästhetischen Symboltheorie, die nicht auf symmetrische Strukturmodelle beschränkt ist, sondern auf das gesamte chemische Bedeutungen tragende Zeichenrepertoire Bezug nimmt. Und tatsächlich berufen sich Hoffmann und Laszlo bei ihrem Versuch, die Zei-

³² de la Motte-Haber (a.a.O., S. 57) meint sogar: "Symmetrie gibt Sicherheit und sie nimmt Ihnen das Denken ab. Man kann, was die künstlerische Entwicklung angeht, sagen: Je totalitärer ein System, um so symmetrischer die Kunst, weil sie um so faßlicher ist."

³³ Kant (1799, S. 277-8); vgl. auch S. 70-1: "Nun werden geometrisch-regelmäßige Gestalten, eine Zirkelfigur, ein Quadrat, ein Würfel usw. von Kritikern des Geschmacks gemeinlich als die einfachsten und unzweifelhaftesten Beispiele der Schönheit angeführt; und dennoch werden sie eben darum regelmäßig genannt, weil man sie nicht anders vorstellen kann als so, daß sie für bloße Darstellungen eines bestimmten Begriffs, der jener Gestalt die Regel vorschreibt (nach der sie allein möglich sind), angesehen werden. [...] Die Regelmäßigkeit, die zum Begriffe von einem Gegenstande führt, ist zwar die unentbehrliche Bedingung (*conditio sine qua non*), den Gegenstand in eine einzige Vorstellung zu fassen und das Mannigfaltige in der Form desselben zu bestimmen. Diese Bestimmung ist ein Zweck in Ansehung der Erkenntnis; und in Beziehung auf diese ist sie auch jederzeit mit Wohlgefallen [...] verbunden."

³⁴ Geometrische Symmetrien lassen sich im Rahmen der mathematischen Gruppentheorie sogar als algebraische Strukturen behandeln. Zur Bedeutung der Symmetrie in der Geschichte der Mathematik und Physik siehe besonderes K. Mainzer, *Symmetrien der Natur. Ein Handbuch zur Natur- und Wissenschaftsphilosophie*, Berlin-New York (de Gruyter) 1988.

³⁵ Ich werde gegen Ende noch eine dritte Erklärungsalternative für die Vorliebe der Chemiker für geometrische Symmetrien liefern, die sich auf das Bedürfnis nach einem Gegenpol zum technisch Zweckmäßigen bezieht.

chensprache der Chemie als künstlerische Sprache auszuweisen, ausdrücklich auf Goodmans Symboltheorie der Kunst.³⁶ Zu einem "ästhetischen System" gehören nach ihrer Meinung als notwendige Bedingungen: 1. ein "kreativ Schaffende(r)" bzw. ein Symbolproduzent, 2. ein "Publikum", 3. ein "Symbolsatz" und 4. der "Akt der Kommunikation". Kunst definieren sie dann als solche "symbolische Handlungen", die 5. "versuchen, aus dem komplexen Bereich der Natur oder der Emotionen Aspekte der Essenz dieser Welten zu extrahieren" und 6. "durch Symbole Informationen vermitteln und/oder Gefühle produzieren" (ebd., S. 12). Da (1)-(4) die üblichen hinreichenden Bedingungen für ein Modell der symbolischen Informationsübertragung bzw. für einseitige Kommunikation darstellen, läßt sich die chemische Zeichensprache in ihrer Verwendung für kommunikative Zwecke damit ohne Schwierigkeiten erfassen. Versteht man, wie die Autoren, unter der "Extraktion von Aspekten der Essenz der Natur" die selektive Übertragung von Molekülstrukturdatensätzen in graphische Zeichnungen und faßt die Publikation solcher Zeichnungen als symbolische Informationsvermittlung, dann treten keine weiteren Probleme, aber auch keine weiteren Kriterien auf, die das spezifisch ästhetische der symbolischen Informationsvermittlung kennzeichnen. Denn natürlich ist jede symbolische Kodierung selektiv, und das sprachliche Ungetüm "Extraktion von Aspekten der Essenz" läßt sich wohlwollend nur als Selektion interpretieren. Was also zeichnet die chemischen Symbole (bzw. ihre Marken) als ästhetische Objekte aus im Unterschied etwa zu physikalischen Formeln? Im Bewußtsein dieser problematischen Gleichsetzung von Kunst und Sprache verweisen die Autoren auf Goodman, der in der Tat die traditionell qualitativen Differenzen zwischen Kunst und Wissenschaft in seiner Symboltheorie graduell eingeebnet hat; sie versäumen es jedoch, dessen graduelle Unterscheidung in Anwendung auf chemische Strukturzeichnungen zu diskutieren, was nun nachgeholt werden soll.

Goodman (1973) liefert leider weder notwendige noch hinreichende Kriterien für ästhetische Zeichen, sondern lediglich vier "Symptome des Ästhetischen", die "in der ästhetischen Erfahrung eher anwesend als abwesend [sind] und [sie] nehmen gewöhnlich eine hervorragende Stellung ein" (ebd., S. 255). Ohne sich endgültig festlegen zu wollen, meint er immerhin, sie könnten vielleicht "gemeinsam hinreichend und jedes für sich notwendig sein, d.h. vielleicht ist eine Erfahrung ästhetisch, wenn sie alle diese Attribute hat, und nur dann, wenn sie eines von ihnen hat." (ebd.) Will man der Goodmanschen Theorie des Ästhetischen bei solcher Vagheit überhaupt etwas abgewinnen, dann muß man sie auf eine Minimalthese festlegen: Wenn keines der Attribute auf chemische Strukturzeichnungen zutrifft, dann können sie auch nicht ästhetisch im Sinne Goodmans genannt werden. Die Aufgabe besteht also in der Untersuchung, ob chemische Strukturzeichnungen mindestens eines der folgenden vier "Symptome des Ästhetischen" aufweisen: 1. syntaktische Dichte, 2. semantische Dichte, 3. syntaktische Völle, 4. exemplifikatorischer Charakter. Für die Untersuchung sind zuerst kurze Erläuterungen der Goodmanschen Terminologie notwendig: Ein Schema ist eine zusammengehörige Menge bzw. ein System von alternativen (Kenn-)Zeichen, die sich jeweils auf verschiedene Klassen von Objekte bzw. Kompatibilitätsklassen beziehen. Das entsprechende chemische Schema wäre dann die Menge aller Molekülstrukturen, die sich jeweils auf verschiedene Molekülklassen beziehen. Ein Zeichen ist für den Nominalisten Goodman eine Klasse von Marken oder Zeichenrealisationen (ebd., S. 139); das chemische Zeichen, die Molekülstruktur, ist dann entsprechend die Klasse aller Molekülstrukturzeichnungen.

(1) Mit dem Prädikat "syntaktisch dicht" kennzeichnet Goodman jedes Schema, "wenn es unendlich viele Zeichen bereitstellt, die so geordnet sind, daß zwischen zweien immer ein drittes ist. [...] es kann nicht entschieden werden, ob eine Marke zu einem und nicht eher zu vielen anderen Zeichen gehört." (ebd., S. 144) Wäre das chemische Strukturschema syntaktisch dicht, dann würde der chemischen Zeichensprache also gerade die vielgelobte Eindeu-

³⁶ Hoffmann/Laszlo (1991, S. 12 ff.); die Autoren beziehen sich dort auf Goodman (1973).

tigkeit der Zuordnung zwischen Zeichnung und Struktur fehlen, auf der gerade die Möglichkeit zur unzweideutigen chemischen Kommunikation über dieselbe Struktur beruht. Von "syntaktischer Dichtheit" kann also keine Rede sein.

(2) Ein Schema ist "semantisch dicht", wenn es "eine unendliche Zahl von Zeichen mit Kompatibilitätsklassen vor[sieht], die so geordnet sind, daß es zwischen jeweils zweien immer noch ein drittes gibt". (ebd., S. 160) Auch diese Bedingung ist in der Chemie ganz offensichtlich nicht erfüllt, denn die chemischen Strukturen bilden keine kontinuierliche Reihe, sondern sie sind deutlich voneinander unterschieden, weil sie qualitativ verschiedenen Stoffen zugeordnet sind.³⁷

(3) Ein Schema besitzt nach Goodman "syntaktische Völle", wenn möglichst alle Aspekte "konstitutiv" (besser vielleicht: semantisch relevant) sind (ebd., S. 231). Dies wird erläutert durch den Vergleich eines Elektrokardiogramms mit der Zeichnung einer Bergkette, die im Prinzip beide zur Darstellung der Bergkette dienen oder sogar hinsichtlich der Linienzüge ununterscheidbar sein könnten. Während jedoch im Schema der Zeichnung "jede Verdickung oder Verdünnung der Linie, ihre Farbe, ihr Kontrast mit dem Hintergrund, ihre Größe, ja selbst die Qualität des Papiers" (ebd.) konstitutive Aspekte sind, spielt im Schema des Diagramms lediglich die relative Lage jedes Punktes der Linie zu Ordinate und Abszisse eine Rolle. Alle genannten, für die Zeichnung konstitutiven Aspekte sind im Diagramm kontingent; und das gleiche gilt fast uneingeschränkt auch für chemische Strukturzeichnungen. Das chemische Strukturschema ist also nicht syntaktisch voll, sondern relativ stark "verdünnt".

(4) Ein Zeichen oder Symbol besitzt einen "exemplarischen Charakter", wenn es auf Eigenschaften, die es selbst aufweist zugleich auch Bezug nimmt. (ebd., S. 63) So ist bspw. die Stoffprobe eines Schneiders ein Exemplar "der Farbe, Webart, Textur und des Musters, aber nicht der Größe, Form, des absoluten Gewichts oder Wertes" (ebd.) der feilgebotenen Ware. Welche Eigenschaften einer chemischen Strukturzeichnung sind nun exemplarisch? Wenn sich Strukturzeichnungen auf Moleküle beziehen sollen, dann können wir auch fragen, welche Eigenschaften eine zweidimensionale Strukturzeichnung und ein Molekül gemeinsam haben. Hier wird die Antwort aber äußerst dürftig ausfallen; allenfalls könnte man noch solch abstruse Eigenschaften wie z.B. die Eigenschaft, mindestens zwei räumliche Dimensionen zu haben, nennen. Doch darauf alleine ließe sich wohl kaum der ästhetische Anspruch für Strukturzeichnungen gründen.³⁸

Trotz Goodmans provokativer These von der "Verwandtschaft" von Wissenschaft und Kunst, die er beide durch das "Erfinden, Anwenden, Lesen, Transformieren und Manipulieren [...] von Symbolsystemen" (ebd. S. 266) charakterisiert, und dabei nur "einen Unterschied in der Dominanz gewisser spezifischer Merkmale von Symbolen" (ebd., S. 265) sieht, impliziert seine Theorie eine deutliche Trennung zwischen den Sprachen der Kunst und der Chemie. Denn die chemischen Strukturzeichnungen lassen sich nicht als ästhetische Objekte im sym-

³⁷ Zwar variieren nach bester chemischer Kenntnis die Bindungsabstände und -winkel in Molekülen mit Druck und Temperatur (unter Mißachtung der Quantenmechanik) quasi kontinuierlich; aber dadurch werden sie nicht zu unterschiedlichen Kompatibilitätsklassen gerechnet. Denn die Kompatibilität wird durch die chemische Stoffidentität bestimmt, d.h., eine Alkoholportion bei 20° und eine bei 40° werden durch dieselbe Struktur denotiert.

³⁸ Nimmt man anstelle der Strukturzeichnungen dreidimensionale Molekülmodelle als ästhetische Objekte, dann wären hier vielleicht noch die räumlichen Proportionen und die gleiche Symmetriegruppe zu nennen; doch auch dies wird bei genauerer Betrachtung problematisch, denn wenn man ein Molekül im Unterschied zur klassischen Strukturtheorie als quantenmechanisches System auffaßt, dann fehlen an ihm alle klassischen Eigenschaften, wozu auch die Struktur gehört (vgl. z.B. Woolley (1978)).

boltheoretischen Sinne Goodmans deklarieren, wie es Hoffmann und Laszlo leichtfertig versuchen, weil an ihnen keines der vier "Symptome des Ästhetischen" nachweisbar ist.

3.3.3 Ecos Ästhetik des offenen Kunstwerks

Unser Untersuchung über den ästhetischen Charakter von Molekülmodellen war bisher weder im Rahmen der klassischen idealistischen Ästhetik mit ihrem Bezug auf bestimmte transzendente Ideen noch im Rahmen einer symboltheoretischen Ästhetik, die sich auf den chemischen Bedeutungshorizont konzentriert, von Erfolg beschert. Ein letzter Versuch soll nun aus einem Ansatz erfolgen, der das Ästhetische gerade in der Sprengung oder der neuartigen Verknüpfung konventioneller Deutungshorizonte sucht. Dazu werde ich den semiotischen Ansatz von Eco mit seiner Theorie des offenen Kunstwerks heranziehen.³⁹ Es bieten sich aber zwei unterschiedliche Möglichkeiten an. Man könnte sich erstens auf die Spannungen und Überbrückungen wissenschafts- bzw. chemie-internen Deutungshorizonte beschränken; dann wäre aber jedes eventuelle ästhetische Moment chemischer Zeichen pragmatisch auf den Kreis der "Chemiekundigen" beschränkt, und außerdem könnte dann leicht jeder wissenschaftlichen Revolution bzw. jedem Paradigmenwechsel im Sinne von Kuhn (1967) ein gewisser ästhetischer Charakter angedichtet werden. Um die Probleme einer esoterischen Ästhetik zu vermeiden und der Gefahr einer oberflächlichen Identifizierung von wissenschaftlicher und künstlerischer Kreativität zu entgehen, soll die zweite Alternative vorgezogen werden: Ich werde mich auf solche chemischen Zeichen konzentrieren, die gerade den chemischen Horizont zu sprengen scheinen und ein spannungsreiches Verhältnis zu anderen Horizonten herausfordern. Diese Wahl wird darüber hinaus auch durch Chemiker selber nahegelegt, insofern sie neben den symmetrischen Molekül(modell)en gerade solche als schön oder ästhetisch reizvoll auszeichnen, die die zweite Bedingung zu erfüllen scheinen. Dabei handelt es sich um Zeichen, die als Darstellungen nicht nur von chemischen Molekülen, sondern auch von Alltagsgegenständen gedeutet werden können. Als Beispiele mögen die chemischen Strukturzeichnungen in Abbildung 1 dienen.

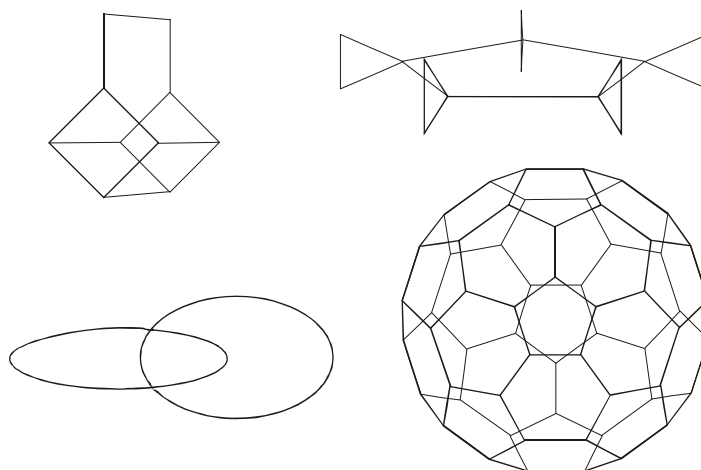


Abbildung 1: Moleküldarstellungen von Basketan, Catenan, Rotan und Fußballen (vgl. z.B. Vögtle 1989a, Hoffmann 1990).

Hinsichtlich des syntaktischen chemischen Codes können wir an den Zeichnungen keine Regelverletzung feststellen, so daß man sie einerseits, insbesondere wenn sie in einem chemischen Kontext auftreten, eindeutig als Darstellungen bestimmter Moleküle interpretieren

³⁹ Eco (1972, S. 145-167; 1973; 1987, besonders S. 347-368).

kann.⁴⁰ Andererseits liefert der Strichcode unzweideutige Anhaltspunkte, um sie als Darstellungen von Alltagsgegenständen (Korb, verschlungene Kettenglieder, Rotor, Fußball) zu interpretieren, und das wird in einem nicht-chemischen Kontext in der Regel die primäre Assoziation sein. Als polyseme Zeichen stellen sie aber nicht nur Beziehungen zwischen jeweils zwei Denotaten her, sondern sie verknüpfen zwei ansonsten getrennte Interpretationsrahmen oder semantische Subcodes, die sich einerseits auf das Reich der Moleküle und andererseits auf das Reich der Alltagsgegenstände beziehen. Die entsprechenden Botschaften bzw. Zeichen erzeugen aufgrund dieser Mehrdeutigkeit eine Spannung, denn die auf der Trennung der Subcodes beruhenden Regeln des ursprünglichen (semantischen) Codes werden nun in Frage gestellt. Damit erfüllen sie nach Eco (1972, S. 145ff.) eine der (notwendigen) Bedingungen einer ästhetischen Botschaft.

Die Verknüpfung weist eine entscheidende Asymmetrie auf, die bereits in der unterschiedlichen Kontextabhängigkeit deutlich wird. Während die chemische Denotation im nicht-chemischen Kontext zurücktritt, bleibt die Denotation auf Alltagsgegenstände auch im chemischen Kontext präsent und somit insgesamt stärker. Durch die Zweideutigkeit gerät also weniger der Alltagsinterpretationsrahmen als der chemische Interpretationsrahmen unter Spannung. Wir sind überrascht, daß die chemischen Signifikanten auch Alltagsgegenstände denotieren, während uns das umgekehrte Verhältnis allenfalls beiläufig auffällt. Damit ist aber auch der Weg für die produktive Spannungslösung vorgegeben: Der chemische Interpretationsrahmen wird in den Alltagsinterpretationsrahmen integriert und nicht umgekehrt. Diese Integration erfolgt nicht auf ontologischer Ebene, die der vorherrschende Reduktionismus ja gerade umgekehrt darstellt, wenn er die Alltagsgegenstände auf ihren molekularen Aufbau zurückführen will. Die Integration wird vielmehr auf konnotativer Ebene vollzogen, indem die Moleküle auf einmal die Anschaulichkeit und Funktionalität von Alltagsgegenständen gewinnen: Moleküle, deren Zeichnungen aussehen wie Körbe, Ketten oder Rotoren, werden jetzt auf die entsprechenden funktionalen Eigenschaften befragt, also hinsichtlich ihrer Fähigkeiten, auf molekularer Ebene Inhalte aufzunehmen und zu transportieren, kettenartige Verknüpfungen herzustellen oder als mechanische Bauteile zu fungieren. Die Welt der Moleküle gewinnt durch diese *konnotative Integration* den Charakter einer miniaturisierten Alltagswelt.

Die "produktive Ambiguität" (Eco 1972, S. 146) entlädt sich in der Chemie aber nicht allein durch idiosynkratische, kontemplative Deutungsprozesse, durch eine in die Tiefe gehende "'offene' Lektüre" (ebd., S. 155) der einzelnen zweideutig strukturierten Botschaft, wie bei Eco. Das neue Decodierungsmodell wird vielmehr kollektiv mit einer in die Breite gehenden Offenheit auf das gesamte Reich der chemischen Strukturen ausgedehnt; und es wird - das ist geradezu charakteristisch für die Chemie - poetisch verstärkt. Es ändern sich nämlich nicht alleine die Wahrnehmungskategorien (im wahrnehmungspsychologischen Sinne) für alte Molekülzeichnungen, zugleich wird auch die chemische Poiesis auf die Herstellung einer der Alltagswelt analogen molekularen Miniaturwelt ausgerichtet. Nanotechnologie und supramolekulare Chemie⁴¹ sind z.B. solche - inzwischen weit über den Kreis der Chemie hinaus bekannt gewordenen - jungen Arbeitsgebiete mit noch unüberschaubarem kreativen Entwick-

⁴⁰ Die Darstellung des Catenan ist zwar in der Chemie üblich, aber nicht ganz eindeutig, da sie sich nicht auf ein bestimmtes Molekül, sondern auf die gesamte Molekülklasse der Catenane bezieht.

⁴¹ Nicht zufällig hat der bereits mehrfach zitierte Autor des Bandes "Reizvolle Moleküle in der Organischen Chemie", F. Vögtle, einen darauf aufbauenden zweiten Band "Supramolekulare Chemie - Eine Einführung" geschrieben. Die konnotative Integration der Moleküle in die Alltagswelt ist übrigens bereits im Vorwort des ersten Bandes durch eine unkommentierte Zeichnung ausgedrückt, in der zwei Menschen dargestellt sind, die über eine hürden- und treppenförmige Molekülgestalt eilen.

lungspotential. Man spricht teils projektierend, teils resümierend von "molekularen Maschinen", "molekularer Erkennung", "molekularen Kanälen", "molekularem Selbstaufbau" etc. (und unter der neuen Dekodierung natürlich auch von "molekularer Schönheit"). Die besondere Faszination erweckende "molekulare Elektronik" oder "Chemionik" formuliert z.B. Lehn (1988, S. 113) in seinem Nobel-Vortrag als mittelfristig erreichbares Fernziel: "Einzelkomponenten und molekulare Funktionseinheiten wie Drähte, Kanäle, Widerstände, Gleichrichter, Dioden und photosensitive Elemente lassen sich möglicherweise zu 'Nanostrukturen' zusammensetzen [...] für die Verarbeitung von Signalen und Informationen auf molekularer Ebene." Dabei erwägt er sogar "Komponenten molekularer Funktionseinheiten [...], die hochselektive Funktionen wie [...] Kommunikation ausführen können" (ebd.).

Wir wollen nun versuchen, die Ausgangsfrage zu beantworten, ob chemische Zeichnungen der oben wiedergegebenen Art eine ästhetische Funktion im Sinne von Eco erfüllen. Ecos erstes Charakteristikum, die Spannung erzeugende und zur Neudecodierung anregende Mehrdeutigkeit, ist offensichtlich erfüllt. Sein zweites Charakteristikum, "daß sie [die Botschaft] als sich auf sich selbst beziehend (autoreflexiv) erscheint, d.h. wenn sie die Aufmerksamkeit des Empfängers vor allem auf ihre eigene Form lenken will" (Eco 1972, S. 145-6), ist nur unter einer Modifikation erkennbar, wenn wir anstelle der einzelnen Botschaft, das gesamte Reich der chemischen Strukturzeichnungen setzen. Wir werden zwar nicht immer wieder auf die einzelne Zeichnung, aber auch nicht (wie im Falle der referentiellen Funktion) "auf das Referens [...] außerhalb der Welt der Zeichen" (ebd., S. 147) verwiesen, sondern die gesamte Welt der chemischen Zeichen wird über die konnotative Integration in die Alltagswelt nun zum Gegenstand neuartiger Interpretationen.

Sind bisher nur (zur Erklärung dienende) Charakteristika der ästhetischen Botschaft benannt und unter der Modifikation des Autoreflexivitätsbegriffs erfüllt, so ist das eigentliche Kriterium des Ästhetischen in der besonderen Funktion der Botschaft zu suchen, daß sie nämlich "zu einer Interpretationsanstrengung anspricht" (ebd., 146), zu einem "offenen Prozeß der Interpretation", um "auf ihr immer neue Codes auszuprobieren", "in ihre leere Form immer neue Bedeutungen einfließen" (ebd., 163) zu lassen. "Die Dekodierungserfahrung wird offen und prozeßartig, [...] wir glauben, daß alles was wir in die Botschaft einfließen lassen, tatsächlich in ihr enthalten sei. So glauben wir, daß die Botschaft die Welt der semantischen Konnotationen, der emotionalen Assoziationen, der physiologischen Reaktionen 'ausdrücke', die ihre zweideutige und autoreflexive Struktur angeregt hat." (ebd., 154) Diese ästhetische Funktion des Kunstwerks, die hier gleichsam eine semiotische Reformulierung der klassischen Spiegeltheorie ist, der zufolge das Kunstwerk als Spiegel zu immer neuen Selbstausslegungen herausfordert, scheint in der Chemie (unter der obigen Modifikation der Autoreflexivität) kaum besser erfüllbar zu sein.⁴² Wenn die zweideutig strukturierte chemische Zeichnung eine konnotative Integration der chemischen Molekülwelt in die Alltagswelt auslöst, dann können diese Dekodierungen der chemischen Zeichen und erst recht die poetischen Bemühungen um eine neuartige Implementierung alltäglicher Gegenständlichkeit in die Welt der Moleküle als groß angelegter Selbstausslegungsprozeß gedeutet werden. Die Alltagswelt aus der Sicht des

⁴² Eco sieht im Rahmen seines Kommunikationsmodell außerdem noch eine Übertragung ästhetischer Erkenntnis über den im einzelnen Kunstwerk niedergeschlagenen spezifischen "Idiolekt" des Künstlers/Senders an den Empfänger, so daß letzterer in seinem Interpretationsprozeß "das Resultat einer bewußten Organisation, einer Gestaltungsintention genießt" (Eco 1973: 185). Die Offenheit der Interpretation wird dabei im "dialektischen Verhältnis" zur interpretatorischen "Treue gegenüber dem Autor" (Eco 1972: 165) eingeschränkt. Da wir hier aber weder von einem isolierten chemischen Zeichen als Interpretationsgegenstand noch von der besonderen Intention eines Senders/Künstlers ausgehen, können diese autor- und werkbezogenen Aspekte außer acht gelassen werden.

Chemikers, d.h. seine spezifischen Konnotationen der Alltagsgegenstände, werden auf der molekularen Ebene in bereinigter Form entfaltet; die molekulare Ebene wird damit zum lesbaren Spiegelbild seiner inneren und äußeren Erfahrungswelt.⁴³

Der ästhetisch angeregte, selbstaussagende Deutungsprozeß geschieht in der Chemie nicht kontemplativ und autoreflexiv auf die einzelne Botschaft wie bei Eco, sondern wahrnehmungskategorisierend und poetisch, d.h. durch gezielte Strukturierung sowohl der eigenen Wahrnehmungskategorien als auch der Wahrnehmungsobjekte. Der Chemiker entäußert sich (und damit natürlich immer auch seine Kultur) in erster Linie als homo faber, und zwar sowohl über die überwiegend technischen Inhalte (von der Mechanik, über die Elektrotechnik bis zur Informationselektronik) als auch über seine spezifische poetische Auslegungsweise. Wenn auf der molekularen Ebene gestalthafte Passung als Erkennen und selektives Erkennen als Kommunikation "wahrgenommen" und inszeniert werden, dann erfahren wir aber auch etwas über die Vorstellung von Erkenntnis- und Kommunikationsprozessen. Deutungen dieser Art, die sich für die Chemie nun auch von außen dem "ästhetischen Denken" im Sinne von Welsch (1989) in großer Breite erschließen, wären Thema einer eigenen Untersuchung. Ich möchte an dieser Stelle den Blick lediglich noch einmal auf die für schön befundenen Molekülstrukturen lenken, also z.B. auf die hochsymmetrischen Moleküle mit der Gestalt von platonischen Körpern, Sternen, Prismen oder eines Fußballs. Aus einer primär auf technische Funktionen ausgerichteten Wahrnehmungsperspektive nehmen diese nämlich unter allen Molekülstrukturen eine Sonderstellung ein. Denn sie springen unwillkürlich und unvermeidbar ins Auge, ohne daß an ihnen unmittelbar eine besondere Gebrauchsfunktion abzulesen wäre. Nicht unter Erkenntniszwecken, an die Kant in seiner Ästhetik dachte, wohl aber unter technischen Zwecken sind sie Gegenstände eines "interesselosen Wohlgefallens", die allein zum Spiel herauszufordern vermögen.⁴⁴

4. Schluß

Unsere Untersuchung hat im ersten Teil ergeben, daß die Chemie unter allen anderen Naturwissenschaften durch ihren besonderen poetischen Charakter - sowohl historisch hinsichtlich ihrer frühen poetischen Emanzipation von der Mimesislehre als auch systematisch durch ihren eigenen poetischen Erkenntniszugang - ausgezeichnet ist, ohne daß sie damit schon ins-

⁴³ Das wäre gewissermaßen eine moderne und modifizierte Fortführung der von Jung (1944) nachgewiesenen Offenlegung der Tiefendimension der Psyche in der alchemistischen Symbolik; vgl. auch die an Jung orientierte Chemiegeschichte von Fierz-David (1952), sowie die kritischen Anmerkungen zum "piktographischen Molekülparadigma" von Liusi/Thomas (1990).

⁴⁴ Diese (an Schiller erinnernde) These, daß das Schöne auf das Nicht-Funktionale in einer technizistischen Wahrnehmung reduziert wird und damit die notwendige Rolle als Gegen- und Ruhepol zum Technischen erhält, wird m.E. auch durch die Äußerungen Vögtles (1989a, S. 23-4) bestätigt, wenn er sich gegen eine Identifizierung der Chemie mit dem Technischen durch Verweis auf das Schöne wehrt: "Strukturen dieser Art [wie sie oben dargestellt sind] dürften auch dem in der Chemie weniger Bewanderten einen Eindruck von der Schönheit der Natur auf molekularer und supramolekularer Ebene vermitteln und damit auf einen Aspekt der Naturforschung hinweisen, der heute im Zuge einer gewissen Wissenschaftsfeindseligkeit leicht übersehen wird." Man muß lediglich den hier überstrapazierten Ausdruck "Natur" durch den auffallend gemiedenen Ausdruck "Artefakte" ersetzen. Der Chemiker de Meijere (1982, S. 18) spricht sogar in offensichtlicher Begeisterung von dem "Spiel mit diesen schönen, weil symmetrischen Molekülen".

gesamt als Technikwissenschaft zu kennzeichnen wäre. Sind somit die Bedingungen für eine gewissermaßen freie Kunst erfüllt, so galt der zweite Teil der Untersuchung der Frage, ob die chemischen Hervorbringungen (Stoffportionen, Moleküle und Molekülmodelle) auch unter ästhetischen Gesichtspunkten zu betrachten sind. Während für die Stoffportionen lediglich einige spekulativen Erwägungen aus Mangel an einer ausgearbeiteten Materialästhetik angeführt werden konnten, sind wir bei den Molekülen trotz der unmittelbaren Anknüpfbarkeit an Platons "Naturästhetik" in erhebliche Schwierigkeiten mit der ontologischen Kategorie dieser Entitäten und ihrer ästhetischen Erfahrbarkeit geraten. Für die vielversprechenden Molekülmodelle erwies sich der chemische Bezug im Rahmen der klassischen idealistischen Ästhetik als kontingent, eine symbolästhetische Deutung der chemischen Zeichensprache hingegen als völlig unergiebig. Lediglich im Rahmen der kontexttranszendierenden semiotischen Ästhetik von Eco konnten wir bestimmten Molekülzeichnungen eine ästhetische Funktion deutlich nachweisen, daß sie nämlich aufgrund ihrer Ambiguität zu einem kollektiven und eigendynamischen Selbstausslegungsprozeß anregen.

Damit ist allerdings der Rahmen einer Ästhetik des Schönen verlassen, die Chemiker mit ihrem Verweis auf die Schönheit symmetrischer Molekül(modell)e eigentlich in Anspruch nehmen. Drei (u.U. sich auch wechselseitig ergänzende) Erklärungsansätze wurden für diese Vorliebe für symmetrische Figuren angeboten: 1. Die kunstpsychologische These eines extremen Ordnungsbedürfnisses; 2. die Kantsche These der Verwechslung bzw. Vermischung von ästhetischer Befriedigung und Erkenntnisbefriedigung in pythagoräischer Tradition; 3. die an Schiller anknüpfende These eines Bedürfnisses nach spielerischer Freiheit, nach einem Gegenpol zur vorherrschenden, an technischen Zwecken orientierten Wahrnehmung.

Nachdem die Möglichkeiten einer Inanspruchnahme des Ästhetischen an den verschiedenen chemischen Hervorbringungen geprüft wurden, sollen daraus abschließend einige Konsequenzen gezogen werden.

1. Aus der Perspektive der Rezipienten ist der ästhetische Anspruch auf symmetrische Molekül(modell)e neben den in Abschnitt 3.3.1 aufgewiesenen Einschränkungen nur nachvollziehbar, insoweit mindestens einer der drei aufgeführten Bedürfnisstrukturen gegenwärtig ist. Eine pauschale Inanspruchnahme läuft daher u.U. Gefahr, anstelle der erhofften ästhetischen Integration eine chemie-interne Sonderästhetik zu konsolidieren, die von außen betrachtet einen esoterischen Charakter behält. Das gilt insbesondere auch für Versuche, einer "Wissenschaftsfeindseligkeit" durch Verweis auf die "Schönheit" der chemischen Hervorbringungen zu begegnen (vgl. Anmerkung 44).

2. Der Reiz an symmetrischen Molekülen war in jüngerer Zeit eine bedeutsame Forschungsmotivation auf einigen Gebieten der Chemie und wird dies vermutlich auch noch in Zukunft sein. Aufgrund von (1) kann dieses Motiv als äußere Forschungslegitimation aber kaum Bestand haben. Daher fehlen wohl auch in keiner Arbeit über die "Schönheit" von Molekülen Verweise auf theoretische, experimentell-praktische oder technische Nebenergebnisse der betreffenden Forschung. Vor diesem Hintergrund ist zu fragen, ob (wie auch immer gartete) ästhetische Motive nicht notwendigerweise zum Forschungsprozeß gehören, wo sie sich ggf. verbergen und wie sie u.U. gezielt mit anderen Forschungszielen in Einklang gebracht werden können.

3. Es war einer der Ergebnisse der Untersuchung, daß ästhetische Funktionen in der Chemie tatsächlich in beträchtlichem Ausmaße wirksam sind, ohne daß dies den Forschern selber als Motiv bewußt sein muß. Was sich hier intern als konsequentes technisches Fortschreiten zu immer kleineren Funktionsbausteinen darstellt, läßt sich extern als ästhetisch angeregte Projektion einer spezifischen Weltsicht auf eine ganz neue Ebene interpretieren. Da die dabei offengelegte Weltsicht gar nicht so chemiespezifisch ist, bewirkt die ästhetische Funktion eine Integration, die durch den Verweis auf die "schönen Moleküle" nicht zu gelin-

gen scheint: Sie liefert uns einen Spiegel unserer kulturellen Welt, an der sowohl Chemiker als auch Nicht-Chemiker teilhaben.

4. Die Analyse solcher Spiegel scheint mir eine wichtige Aufgabe einer ästhetischen Theorie der Gegenwart zu sein, weil die ästhetische Funktion in unreflektiertem Zustand eine Eigendynamik erzeugen kann, wie das Beispiel aus der Chemie demonstriert. Wenn nämlich die Interpretation einer ästhetischen Botschaft (im Sinne Ecos) poetisch erfolgt und somit selber wieder eine ästhetisch interpretierbare Botschaft erzeugt, dann entsteht eine Eigendynamik von Produktion und Interpretation, die von werk- oder autorzentrierten Ästhetiktheorien nicht erfaßt werden kann. Das mag im traditionellen Kunstbereich zu einem bedauerlichen aber harmlosen Spezialdiskurs unter Künstlern führen. Im Bereich der stofflichen Poiesis wie im gesamten Bereich der Technik wären wir davon jedoch - ob wir dies wollen oder nicht - alle mehr oder weniger direkt betroffen.

Literatur

- Adorno, T.W. (1970): *Ästhetische Theorie*, Frankfurt/M. (Suhrkamp).
- Arnheim, R. (1988): "Stillstand in der Tätigkeit", in: Wille (1988, S. 1-16).
- Bandmann, G. (1969): "Bemerkungen zu einer Ikonologie des Materials", *Städel-Jahrbuch NF*, **2**, 75-100.
- Bandmann, G. (1971): "Der Wandel der Materialbewertung in der Kunsttheorie des 19. Jahrhunderts", in: H. Koopmann, J.A. Schmoll (Hg.), *Beiträge zur Theorie der Künste im 19. Jahrhundert*, Bd. 1, Frankfurt/M., S. 129-157.
- Blumenberg, H. (1957): "'Nachahmung der Natur'. Zur Vorgeschichte der Idee des schöpferischen Menschen", *Studium Generale*, **10**, 266-283.
- de la Motte-Haber, H. (1988): "'Sie bildet regelnd jegliche Gestalt und selbst im Großen ist es nicht Gewalt' - Regelmaß und Einmaligkeit als ästhetische Prinzipien", in: Wille (1988, S. 17-29).
- de Meijere, A. (1982): A. de Meijere: "Sport, Spiel, Spannung - die Chemie kleiner Ringe", *Chemie in unserer Zeit*, **16**, 13-22.
- Düring, I. (1944): I. Düring, *Aristotle's Chemical Treatise. Meteorologica Book IV*, Göteborg.
- Eco, U. (1972): "Die ästhetische Botschaft", in: *Einführung in die Semiotik*, München (Fink), S. 145-167 (wiederabgedruckt in: D. Henrich, W. Iser (Hg.), *Theorien der Kunst*, Frankfurt/M. (Suhrkamp) 1992, S. 404-428).
- Eco, U. (1973): *Das offene Kunstwerk*, Frankfurt/M. (Suhrkamp).
- Eco, U. (1987): *Semiotik. Entwurf einer Theorie der Zeichen*, München (Fink).
- Eliade, M. (1960): *Schmiede und Alchemisten*, Stuttgart (Klett).
- Everitt, A. (1977): *Abstrakter Expressionismus*, München-Zürich (Droemer).
- Farber, E. (1938): "Copernicanische Umkehrungen in der Geschichte der Chemie", *Osiris*, **5**, 479-498.
- Farber, E. (1950): "Chemical Discoveries by Means of Analogies", *Isis*, **41**, 20-26.
- Feyerabend, P. (1984): *Wissenschaft als Kunst*, Frankfurt/M. (Suhrkamp).
- Fiedler, K. (1942): "Über den Ursprung der künstlerischen Tätigkeit" (1887), in: *Vom Wesen der Kunst, zusammengestellt und eingeleitet von H. Eckstein*, München (Piper).
- Fierz-David, H.-E. (1952): *Die Entwicklungsgeschichte der Chemie - Eine Studie*, Basel (Birkhäuser), 2. Aufl.

- Franke, H.W.; Baumann, C. (1994): Ankündigung des Symposiums "Naturwissenschaft und Kunst - Kunst und Naturwissenschaft. Versuche einer Begegnung" (1.-3. Dez. 1994, Leipzig).
- Frey, D. (1949): "Zum Problem der Symmetrie in der bildenden Kunst", *Studium Generale*, **2**, 268-278.
- Gombrich, E.H. (1988): "Symmetrie, Wahrnehmung und künstlerische Gestaltung", in Wille (1988, S. 94-119).
- Goodman, N. (1973): *Sprachen der Kunst. Ein Ansatz zu einer Symboltheorie*, Frankfurt/M. (Suhrkamp).
- Grahn, W. (1981): "Platonische Kohlenwasserstoffe", *Chemie in unserer Zeit*, **15**, 52-61.
- Habermas, J. (1985): *Der philosophische Diskurs der Moderne*, Frankfurt/M. (Suhrkamp).
- Haeckel, E. (1899): *Kunstformen der Natur*, Leipzig-Wien.
- Hargittai, I. (1988): "Real Turned Ideal Through Symmetry", in Wille (1988, S. 131-161).
- Hargittai, I.; Hargittai, M. (1986): *Symmetry through the Eyes of a Chemist*, Weinheim (VCH).
- Hegel, G.W.F. (1967): *Einleitung in die Ästhetik*, München 1967.
- Heilbronner, E.; Dunitz, J.D. (1993): *Reflections on Symmetry in Chemistry ... and Elsewhere*, Basel-Weinheim (VHCA-VCH).
- Heisenberg, W. (1977): "Die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft", in: Ders., *Schritte über Grenzen*, München (Piper) ⁴1977, S. 288-305.
- Hoffmann, R. (1988-89): "Molecular Beauty", *American Scientist*, **76** (1988), 389-391/604-605; **77** (1989), 177-178/330-332.
- Hoffmann, R. (1990): "Molecular Beauty", *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, **48**, 191-204.
- Hoffmann, R. (1993): "Die Chemie zwischen Natur und Ideal", *Spektrum der Wissenschaft*, H. 4, 68-77.
- Hoffmann, R.; Laszlo, P. (1991): "Darstellungen in der Chemie - die Sprache der Chemiker", *Angewandte Chemie*, **103**, 1-16.
- Hooykaas, R. (1947/48): "The Discrimination between 'Natural' and 'Artificial' Substances and the Development of Corpuscular Theory", *Archives internationales d'histoire des sciences*, **1**, 640-651.
- Ihde, A.J. (1964): *The Development of Modern Chemistry*, New York (Harper & Row) 1964.
- Janich, P. (1992): *Grenzen der Naturwissenschaft*, München (Beck).
- Jung, C.G. (1944): *Psychologie und Alchemie*, Zürich (Rascher).
- Kant, I. (1799): *Kritik der Urteilskraft*, Berlin, 3. Aufl.
- Kemp, W. (1975): "Material der bildenden Kunst. Zu einem ungelösten Problem der Kunstwissenschaft", *Prisma* (Gesamthochschule Kassel), **9**, 25-34.
- Kuhn, T.S. (1967): *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, Frankfurt/M. (Suhrkamp).
- Lehn, J.-M. (1988): "Supramolekulare Chemie - Moleküle, Übermoleküle und molekulare Funktionseinheiten (Nobel-Vortrag)", *Angewandte Chemie*, **100**, 91-116.
- Luisi, P.-L.; Thomas, R.M. (1990): "The Pictographic Molecular Paradigm. Pictorial Communication in the Chemical and Biological Sciences", *Die Naturwissenschaften*, **77**, 67-74.
- Mainzer, K. (1988): *Symmetrien der Natur. Ein Handbuch zur Natur- und Wissenschaftsphilosophie*, Berlin-New York (de Gruyter).

- McMorris, M.N. (1970): "Aesthetic Elements in Scientific Theories", *Main Currents in Modern Thought*, **26**, 82-91.
- Multhauf, R.P. (1966): *The Origins of Chemistry*, London (Oldbourne).
- Nietzsche, F. (1972): "Versuch einer Selbstkritik", Vorrede zu *Die Geburt der Tragödie* (1886), in: *Nietzsche Werke, kritische Gesamtausgabe, herausgeg. von G. Colli und M. Montinari*, Bd. III.1, Berlin (de Gruyter).
- Odebrecht, R. (1935): "Werkstoff und ästhetischer Gegenstand", *Zeitschrift für Ästhetik und allgemeine Kunstwissenschaft*, **29**, 1 ff.
- Read, J. (1957): *Through Alchemy to Chemistry*, London (Bell).
- Rötgers, K. (1983): "Der Ursprung der Prozeßidee aus dem Geiste der Chemie", *Archiv für Begriffsgeschichte*, **27**, 93-157.
- Russell, C.A. (1987): "The Changing Role of Synthesis in Organic Chemistry", *Ambix*, **34**, 167-180.
- Schiller, F. (1795): "Über die ästhetische Erziehung des Menschen, 22. Brief" (1795), in: *Schillers sämtliche Werke in zwölf Bänden*, Bd. 12, Leipzig o.J., S. 62.
- Schopenhauer, A. (1977): *Parerga und Paralipomena II*, in: *Arthur Schopenhauer, Zürcher Ausgabe, Werke in zehn Bänden*, Zürich (Diogenes), Bd. X.
- Singer, C.; Holmyard, E.J.; Hall, A.R. (1954): *A History of Technology*, Vol. 1, Oxford (Clarendon) 1954.
- Thorndike, L. (1964): *A History of Magic and Experimental Science*, New York-London (Columbia U. P.).
- Vogt, A.M. (1988): "Rotunde und Panorama - Steigerung der Symmetrie-Ansprüche seit Paladio", in: Wille (1988, S. 169-181).
- Vögtle, F. (1989a): *Reizvolle Moleküle der Organischen Chemie*, Stuttgart (Teubner).
- Vögtle, F. (1989b): *Supramolekulare Chemie - Eine Einführung*, Stuttgart (Teubner) 1989.
- Vögtle, F.; Rossa, L.; Bunzel, W. (1982): "Schöne Moleküle in der organischen Chemie", *Kontakte*, H. 2, 37-48 (teilweise wiederabgedruckt in: *Chemie für Labor und Betrieb*, **35** (1984), 178-179).
- Welsch, W. (1989): "Zur Aktualität ästhetischen Denkens", *Kunstforum International*, **100**, 134-149.
- Wille, R. (1988): *Symmetrie in Geistes- und Naturwissenschaften*, herausgeg. von R. Wille, Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- Woolley, R.G. (1978): "Must a Molecule Have a Shape?", *Journal of the American Chemical Society*, **100**, 1073-8).
- Zee, A. (1990): *Magische Symmetrie. Die Ästhetik in der modernen Physik*, Basel-Boston-Berlin (Birkhäuser).