

Kugeln und Stäbchen

Vom kulturellen Ursprung chemischer Modelle

aus: Blick in die Wissenschaft: Forschungsmagazin der Universität Regensburg 18 (2006), 10-18

Wissenschaftsgeschichte

»A century of construction« hat man das 19. Jahrhundert genannt: eine Zeit, in der sich Auffassungen vom Raum durchsetzten, wie sie für Ingenieure typisch sind. Der konstruierende Blick auf die Wirklichkeit prägte auch die Wissenschaftskultur jener Epoche. In diesem Kontext entstand die Stereochemie, die Lehre vom räumlichen Bau chemischer Moleküle. Teil ihrer Vorgeschichte sind Unterrichtsmodelle, die sich nicht primär neuen Fakten oder neuen Theorien verdanken, sondern zur visuellen Kommunikation dienten: ein Medium, in das sich kulturelle Erfahrung einschreiben ließ und mit dem die aufsteigende Berufsgruppe der Chemiker nicht bloß Aussagen über die Materie treffen, sondern auch ihr eigenes professionelles Selbstverständnis demonstrieren konnte.

Bildhaft-anschauliche Vorstellungen haben in der Wissenschaft vom Stofflichen immer wieder eine wichtige Rolle gespielt. Das gilt von Demokrits Atomen in der Antike bis hin zum fußballförmigen C_{60} -Molekül des Fulleren in der modernen Chemie. Doch Bilder bergen Gefahren, wie die spekulativen Bildwelten der Alchemie belegen. Vielleicht hatte sich deshalb die neuere Chemie geradezu ein Bildnisverbot auferlegt. Sogar die bildhafte Atomtheorie John Daltons hat sich zu Beginn des 19. Jahrhunderts nur in der nicht-anschaulichen Version der noch heute verwandten chemischen Buchstabensymbolik durchsetzen können. Doch Mitte der 1860er Jahre wandelte sich in der Chemie das Verhältnis zur Anschaulichkeit. In Verbindung mit der neuen Strukturtheorie führte das Aufkommen räumlicher Vorstellungen zu einer der großen Revolutionen in der Chemie des 19. Jahrhunderts: der Stereochemie.

Wie neues Wissen entsteht, gehört zu den Grundfragen der Wissenschaftsgeschichte. Sind es neue empirische Befunde, die uns zwingen, vertraute Vorstellungen aufzugeben? Oder genügt es, die Welt mit anderen Augen anzusehen, um ein neues Bild von ihr zu erhalten? Dürfen wir von »Entdeckungen« sprechen, als wären die Ergebnisse bereits da und brauchten bloß noch ent-deckt zu werden wie der Pilz unter herbstlichem Laub? Oder sollten wir eher »Erfindungen« sagen und annehmen, dass wir schöpferisch etwas entwerfen und dann schauen, wie die Natur sich mit unseren Konstrukten erfassen lässt? Wenn aber das Neue nicht einfach schon da wäre wie der Pilz im Walde, sondern »erfunden« werden müsste, woher kam dann die neue räumliche Vorstellung vom Bau der

Moleküle, und wie konnte sie sich so rasch durchsetzen – obwohl zunächst kein einziger handfester Beweis vorlag, gute philosophische Gründe dagegen sprachen und noch nicht einmal die Existenz von Atomen und Molekülen experimentell gesichert war?

Modelle und theoretische Begriffe sind nicht bloße Abbilder der äußeren Natur. Natur wird im Wissenschaftsprozess erst mit Hilfe von Prozeduren, Instrumenten, Terminologien und Darstellungsverfahren in sichtbare, zählbare, benennbare und manipulierbare, d. h. in kulturelle, Objekte verwandelt. Auch Atome, Molekülorbitale, Benzolringe und die DNS-Helix sind in diesem Sinne kulturelle Objekte, die sich bestimmten Zwecksetzungen, Untersuchungs- und Darstellungstechniken verdanken. Sie verkörpern bestimmte Eigenschaften von »natürlichen« Objekten, besitzen aber auch Eigenschaften, die nur dem Modell zukommen und keine Entsprechung in der Natur haben, und sind mit zeitgebundenen Anschauungen behaftet; denn auch Theorie ist stets kulturell geprägt.

Die Molekülmodelle der Chemiker, die in den 1860er Jahren aufkamen, enthielten eine doppelte Botschaft: eine chemische und eine soziale. Indem Chemiker die unsichtbaren Naturobjekte »Molekül« oder »Äquivalent« in kulturelle Objekte wie Kugel-Stäbchen-Modelle verwandelten, erfanden sie eine bildhafte Sprache, mit der sich chemische Theorien und Operationen visuell kommunizieren ließen. Sie schufen damit aber zugleich auch ein symbolisches Ausdrucksmittel für professionelle Geltungsansprüche im Kontext der beginnenden Industrialisierung, den Anspruch nämlich, Baumeister einer neuen Welt aus neuen Materialien zu sein.

Konstruktion und Synthese

Die Geschichte dieser Modelle beginnt in Bloomsbury, dem Intellektuellenviertel des viktorianischen London. Mitte der 1840er Jahre traf sich hier eine Gruppe junger Chemiker, denen das Selbstverständnis der Chemie als analytischer Wissenschaft nicht länger genügte. »Chemische Synthese« hieß das neue Programm. August Wilhelm Hofmann ¹ hatte den Begriff 1845 auf einer Sitzung der Chemical Society öffentlich proklamiert, und bald war man überzeugt, auch komplizierte Naturstoffe künstlich zusammenzusetzen, ja die Natur noch übertreffen zu können. Dass damals die erste Vollsynthese eines Naturstoffs, der Essigsäure, gelang und dass wenig später die ersten chemischen

Farbstoffe das Licht der Welt erblickten und den spektakulären Aufstieg der Farbenindustrie einleiteten, daran sei nur am Rande erinnert.

Die Basis des neuen Selbstverständnisses war die sog. ›Typentheorie‹. Danach wurden Stoffe mit analogem Reaktionsverhalten wenigen Grundtypen zugewiesen. Hofmanns Modellschubstange war der Ammoniak (NH_3). Durch sukzessiven Ersatz der drei Wasserstoffatome ließ sich ein ganzer Fächer von Substitutionsprodukten erhalten. Hierbei besaß die Typentheorie den Vorzug, dass sich mit ihrer Hilfe erstmals auch mögliche, bisher noch unbekannte Verbindungen voraussagen ließen. Allerdings wollte man damit keinerlei Aussagen über die tatsächliche Anordnung von Atomgruppen oder über Bindungsverhältnisse treffen, die als prinzipiell nicht-erkennbar galten.

Doch auch ohne ›wahr‹ zu sein, kann sich eine Hypothese bewähren. Hofmann verstand den chemischen Typus als Herstellungsanweisung, als eine Art Bauplan oder Schablone, in dessen Muster sich Atome oder Atomgruppen einfügen ließen wie Ziegelsteine in eine Mauer. Zur didaktischen Veranschaulichung hatte er sich 1862 sog. Typen-Schablonen (›type moulds‹) **2** anfertigen lassen, die Äquivalentvolumina repräsentierten und dem Lehrer gestatteten, durch Manipulation körperlicher Objekte – hier: der Blechbüchsen – die chemischen Operationen der Trennung, Verbindung und Substitution vorzuführen. Das Modell stellte mithin Relationen zwischen Naturobjekten (hier: Gasvolumina) dar, und nicht Atome oder Moleküle oder gar deren räumliche Ordnung.

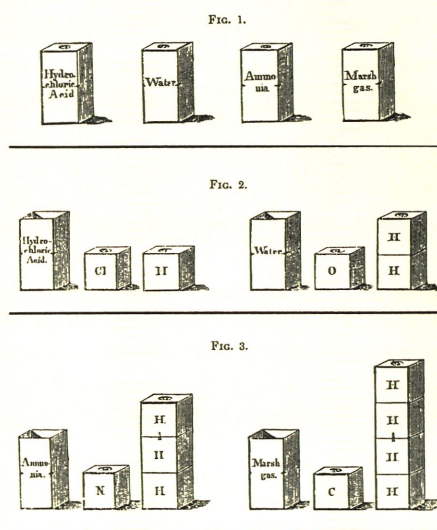
Krocket-Bälle und molekulare Bauwerke

Blechbüchsen sind wenig publikumswirksam. Zum Friday Evening Discourse in der Londoner Royal Institution – damals wie heute ein gesellschaftliches Ereignis ersten Ranges – überraschte Hofmann sein Publikum am 7. April 1865 mit einem neu erfundenen Modell aus Krocket-Bällen, dem beliebten Gesellschaftsspiel der Viktorianer. Krocket-Bälle waren Hofmanns Atome: weiße der Wasserstoff, grüne das Chlor, rote der Sauerstoff, blaue der Stickstoff und schwarze der Kohlenstoff. Für die Bindungen waren Metallröhrchen und -stäbchen eingeschraubt. Wasserstoff und Chlor bekamen je eines, Sauerstoff zwei, Stickstoff drei und Kohlenstoff vier. Zusammengesteckt erhielt man »a kind of mechanical structures in imitation of the atomic edifices to be illustrated«. Die so erzeugten dreidimensionalen Formeln nannte Hofmann »glyptic formulæ«, d. h. plastische Formeln **3**.

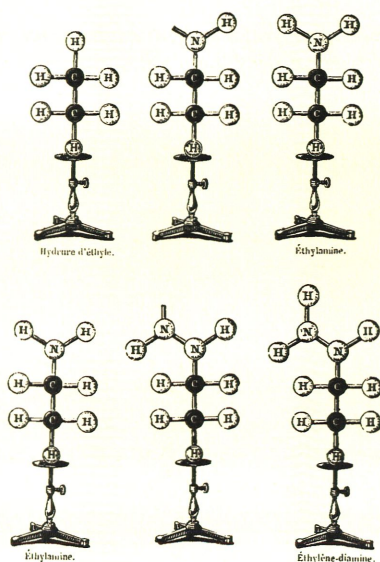
Die Schreibweise, die diesem Modell zugrunde lag, war die der frühen Strukturchemie. Man versuchte dabei, Molekülen eine innere Feinstruktur zu geben, indem man chemisch zusammengehörige Atomgruppen unterschied und durch Bindungsstriche verband. Allerdings sollte die Formel nicht die tatsächlichen Positionen der Atome ausdrücken, sondern bloß deren Funktion und Reaktionsverhalten. Dabei hatten Hofmanns ›plastische Formeln‹ die quasi-planare Lesart der auf Papier hingeschriebenen Formeln in ein Modell übersetzt, das sich dreidimensional aufbauen ließ; die räumliche Eigenschaft war aber nicht viel mehr als ein



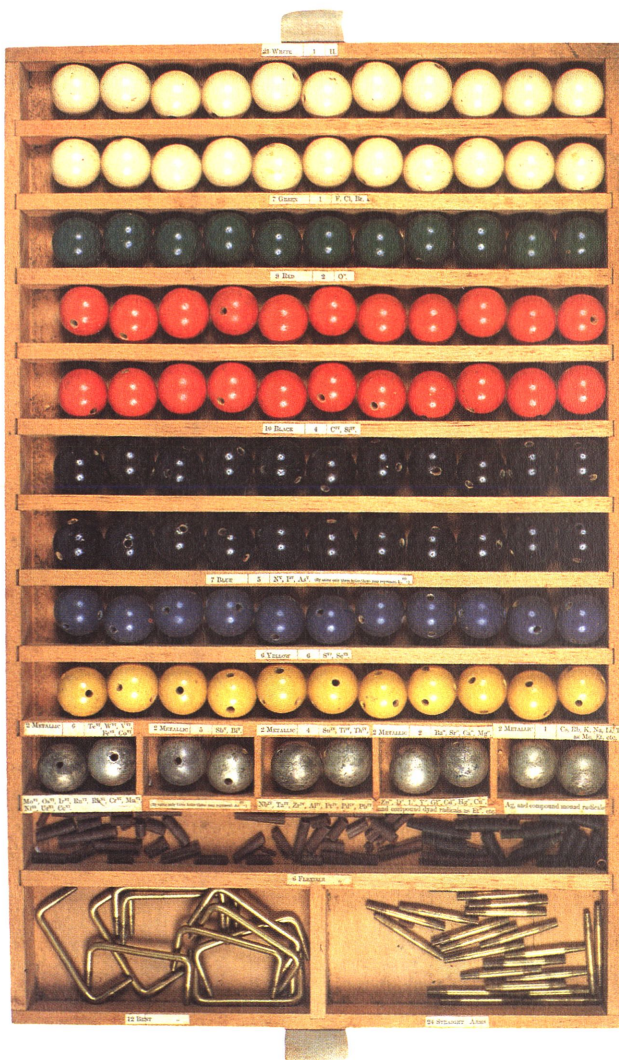
1 August Wilhelm Hofmann (1818–1892) als Professor der Government School of Mines in South Kensington, London. Kupferstich von Cook, 15,5 x 11,2 cm, aus: Sheridan Muspratt, Chemistry, Theoretical, Practical & Analytical as Applied and Relating to the Arts and Manufactures, Bd. 1. Glasgow: W. Mackenzie, [1860].



2 Die vier Grundtypen der Typentheorie: Salzsäure, Wasser, Ammoniak und Methan, durch die entsprechenden Gasvolumina dargestellt. Aus: A. W. Hofmann, »On the combining power of atoms«, Proceedings of the Royal Institution of Great Britain 4 (1865), S. 401–430, hier S. 412.



3 Hofmanns »Glyptic Formulæ« der Aminoderivate des Ethan. Aus: ebd.

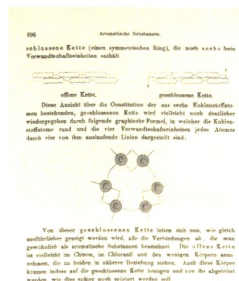


4 Molekülbaukasten nach A. W. Hofmann, um 1870 (Museum of the History of Science, Oxford). Die Box (630 x 310 x 60 mm) enthält 109 hölzerne Atomkugeln (Ø 30 mm) sowie 24 gerade, 12 gebogene und 6 flexible Verbindungsstücke.

5 Kekulé's Benzolmodell. links: Die sechs viergliedrigen Kohlenstoffatome sind aus einem einzigen Holzstück gedreht, das gesamte Modell misst ca. 15 x 15 x 2 cm (Museum voor de Geschiedenis van de Wetenschappen, Gent). rechts: Die entsprechende Darstellung aus: August Kekulé, Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen, Bd. 2. Erlangen: Enke, 1866, S. 496.

Nebeneffekt bei der Übertragung von Kreidestrichen an der Tafel auf die publikumswksamere Kugel-Stäbchen-Konstruktion. Dementsprechend blieben die Bindungen planar ausgerichtet und das Modell sollte nichts über die wirkliche Lage von Atomen und Bindungen aussagen.

Tatsächlich würde man Hofmanns Modelle missverstehen, interpretierte man sie bloß im Lichte der damaligen Bindungstheorie. Ihr Zweck war ein didaktischer, kein theoretischer. Und im Hörsaal ging es nicht bloß um chemische, sondern auch um soziale und ideologische Botschaften. Hofmanns sorgfältig inszenierter Auftritt von 1865 diente vor allem dem Ziel, das britische Publikum davon zu überzeugen, dass Chemiker Architekten der stofflichen Welt sind: Experten, die die Materie zu ihren Zwecken manipulieren können und bald in der Lage sein werden, eine neue Welt aus neuen Materialien zu bauen. Der Chemiker als Architekt der Moderne: Das war der Kern seiner Botschaft.



Und die Modelle auf dem Vorlesungstisch bildeten einen symbolischen Raum, den der Chemiker mit geschickten Händen erobern und kontrollieren konnte.

Hofmanns Kugel-Stäbchen-Modelle wurden rasch populär. Schon im Mai 1867 erschienen Inserate eines gewissen Mr. Blakeman aus London, der einen Satz davon vertrieb. Wie verbreitet solche Modellbaukästen **4** waren, ist schwer einzuschätzen. Die Skepsis dürfte zunächst überwogen haben. Denn die Verwendung mechanischer Modelle galt als problematisch. Die Gefahr, rein hypothetische Begriffe zu verdinglichen, lag auf der Hand. Nur wenige Chemiker, wie Edward Frankland, Nachfolger Hofmanns in London, oder Carl Schorlemmer, ein Freund von Karl Marx und seit 1861 Chemieprofessor am Owens College in Manchester, verteidigten die Verwendung im Unterricht, vorausgesetzt, man schärfte den Studenten gleichzeitig ein, dass das Modell nichts über die tatsächliche Position der Atome und Bindungsverhältnisse aussage. Sonst ginge es einem wie dem Studenten, von dem Schorlemmer berichtete, der in der Prüfung die Antwort gab: »Atoms are square blocks of wood invented by Dr Dalton.«

Eigenartigerweise wurde die Zulässigkeit solcher visuellen Hilfsmittel unter den Chemikern damals so gut wie nicht diskutiert. Lediglich Hermann Kolbe in Leipzig holte in einem Privatbrief zum Frontalangriff aus: »Offen gesagt,« schrieb er 1866 an Frankland, »halte ich alle diese graphischen Darstellungen für nicht zeitgemäß und auch für gefährlich; gefährlich deshalb, weil damit die Phantasie zu freien Spielraum gewinnt, wie denn schon z. B. bei Kekulé seine Phantasie mit dem Verstande längst durchgegangen ist. Es ist unmöglich, und wir werden wohl auch nie dahin gelangen, über die räumliche Lagerung der Atome eine Anschauung zu gewinnen. Hüthen wir uns deshalb auch, uns davon ein Bild zu entwerfen, wie die Bibel uns warnt, uns von der Gottheit eine sinnliche Vorstellung zu machen.«

Brötchen und Röllchen

August Kekulé war einer der führenden Exponenten der jungen Strukturtheorie und damals wohl der einzige Chemiker Kontinentaleuropas, in dessen Genter, später Bonner Labor man ohne Vorbehalte mit den britischen Modellen gearbeitet hat. Die Chemie verdankt Kekulé die Lehre von der konstanten Valenz, das vierwertige Kohlenstoffatom und die Benzolformel. Die Erklärung ungesättigter und aromatischer Verbindungen war eines der noch ungelösten Probleme der Strukturchemie. Kekulé's sog. »Brötchen-Formeln« des Benzols gaben die Valenzeinheiten der Atome durch die Länge des jeweiligen Röllchens wieder. Mehrfachbindungen – das war der Vorzug dieser Notation – ließen sich durch Kontakt mehrerer Valenzeinheiten darstellen. Danach besaß das Benzol einen Kern von sechs Kohlenstoffatomen in einer geschlossenen Kette aus alternierenden Einfach- und Doppelbindungen. Was im Druck reichlich abstrakt scheint, hatte seinen Ursprung in hölzernen Vorlesungsmodellen, die Kekulé sich 1857 in Heidelberg gebastelt hatte **5**. Sie zeigen die sechs, aus je-

weils vier Valenzeinheiten bestehenden Kohlenstoff-Röllchen, von senkrecht zur Achse stehenden Metallklammern zusammengehalten. Dass Kekulé damit keinesfalls die tatsächliche Symmetrie des Benzolmoleküls wiedergeben wollte, steht außer Frage, wie er denn auch vorsichtig genug war, dieses Modell nie öffentlich zu diskutieren; verletzte es doch allzu offenkundig die traditionelle Ikonographie des Atoms.

Hülsen und Ösen

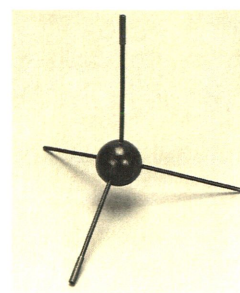
1865 ließ sich Kekulé die Hofmannschen Kugel-Stäbchen-Modelle aus London kommen; doch so hübsch diese waren, besaßen sie für ihn einen Mangel: Mehrfachbindungen ließen sich mit den starren Hülsen und Stäbchen schlecht realisieren. Die im Handel befindlichen Bausätze enthielten dafür zwar Kautschukröhrchen oder U-förmige Brücken; doch dass dabei zwei Arten von Bindungen entstanden, nämlich die geraden Verbindungslinien zwischen den Atomzentren und die viel längeren Brückenglieder, setzte ein weiteres Fragezeichen an das ohnehin schon problematische Modell.

Auf der Suche nach Alternativen ließ Kekulé im April 1867 seinen neuen Institutsmechaniker mit seinem Assistenten Wilhelm Körner neue Demonstrationsmodelle **6** für die Vorlesung bauen. Abweichend vom Hofmannschen Kugel-Stäbchen-Typus waren die Valenzstäbchen des Kohlenstoffatoms nun tetraedrisch ausgerichtet, so dass sich symmetrische Doppel- und Dreifachbindungen realisieren ließen, ohne die Messingröhrchen zu knicken. Für den Zusammenhalt sorgten Metallhülsen oder kleine Bohrungen, durch die sich ein Ring ziehen ließ. Es scheint, als sei die tetraedrische Geometrie in Kekulé's neuem Modell zunächst nicht viel mehr als ein Trick gewesen, das Problem der mechanischen Verbindung zu lösen. Dabei mag ein gewisses Empfinden für molekulare Symmetrie mitgespielt haben, doch primär war das neue Modell nicht als Antwort auf eine Frage der chemischen Theorie gedacht, sondern als Lösung eines mechanischen Bastel-Problems.

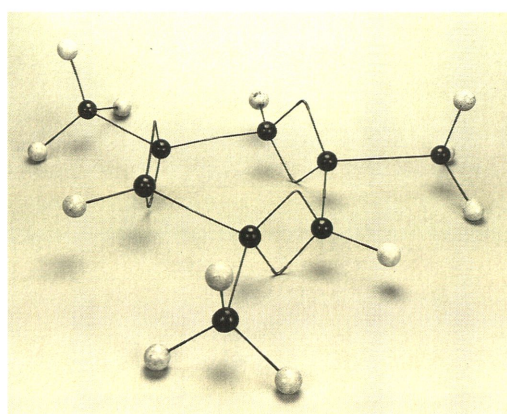
Vom Lehrmittel zum Werkzeug der Forschung

Das früheste Beispiel für eine Anwendung auf Forschungsfragen ist Kekulé's Arbeit von 1867 über das Mesitylen **7**. Darin konnte er die Kondensation von drei Aceton-Molekülen zum Trimethylbenzol anhand des neuen Modells plausibel machen. Aus dem didaktischen Hilfsmittel war ein Werkzeug der Forschung geworden. Es überrascht deshalb nicht, dass Schüler und Mitarbeiter Kekulé's in dieser Hinsicht noch weiter gingen als der Meister. Denn wer die Chemie mit Hilfe räumlicher Modelle kennengelernt hatte, fand es »natürlich«, Moleküle als räumliche Gebilde zu denken. Wilhelm Körner, der als Assistent an der Konstruktion des Tetraedermodells beteiligt gewesen war, versuchte z. B., damit ein offenes Problem der Kekulé'schen Benzolformel zu lösen. Nach dieser hätte man nämlich zwei unterschiedliche ortho-Derivate erwarten müssen, je nachdem, ob zwischen den benachbarten Kohlenstoffatomen, die Substituenten tragen, Einfach- oder Doppelbindungen stehen. Solche Isomere

existieren aber nicht, und der Fehler schien in der Formel zu liegen. Körner fasste die Kekulé'sche Benzolformel jedoch »realistischer« auf als sein Lehrer, nahm einen Molekülbaukasten und steckte ein Benzol zusammen, bei dem jedes C-Atom quer durch den Kern mit drei anderen verbunden war **8**. Ähnliche Benzolformeln hatten auch schon andere Chemiker vorgeschlagen; Körner aber tat es in der Überzeugung, dass sich die Existenz eines solchen Gebildes aus der Tatsache plausibel machen ließ, dass es mit einem Kugel-Stäbchen-Modell zu konstruieren war. Die Natur verstehen hieß hier, von ihr ein anschauliches Modell – nicht nur in Gedanken – zu entwerfen, sondern tatsächlich mit Händen zu bauen: eine Einstellung, die sich sonst vor allem bei britischen Naturwissenschaftlern fand und die in dem Ausspruch von William Thomson, Lord Kelvin, gipfelte: »Ich bin niemals zufrieden, bevor ich von dem Gegenstand, den ich studiere, ein mechanisches Modell konstruieren kann. Wenn ich ein mechanisches Modell machen kann, verstehe ich; wenn ich keines machen kann, verstehe ich nicht.«



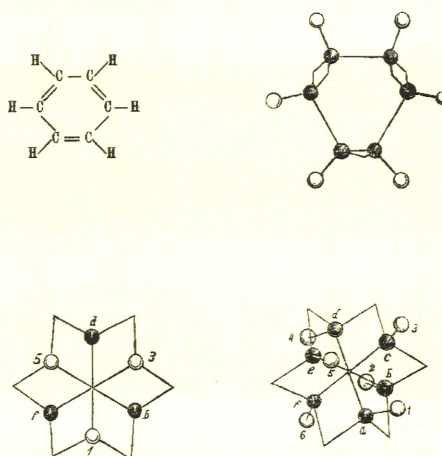
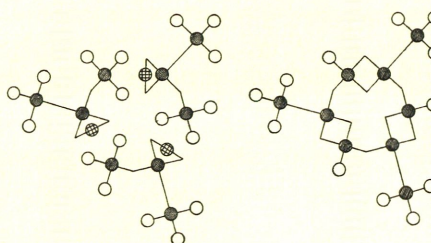
6 Kekulé's Kohlenstoff-Atom von 1867: Die Valenzstäbchen sind entsprechend den Achsen eines regelmäßigen Tetraeders ausgerichtet. Die Holzkugel misst ca. 3 cm, jedes Stäbchen ca. 7 cm (Museum voor de Geschiedenis van de Wetenschappen, Gent).



7 Modellierung der Kondensation von drei Molekülen Aceton zu Mesitylen (1,3,5-Trimethylbenzol).

oben:
Das Modell misst ca. 60 x 60 x 15 cm (Museum voor de Geschiedenis van de Wetenschappen, Gent);

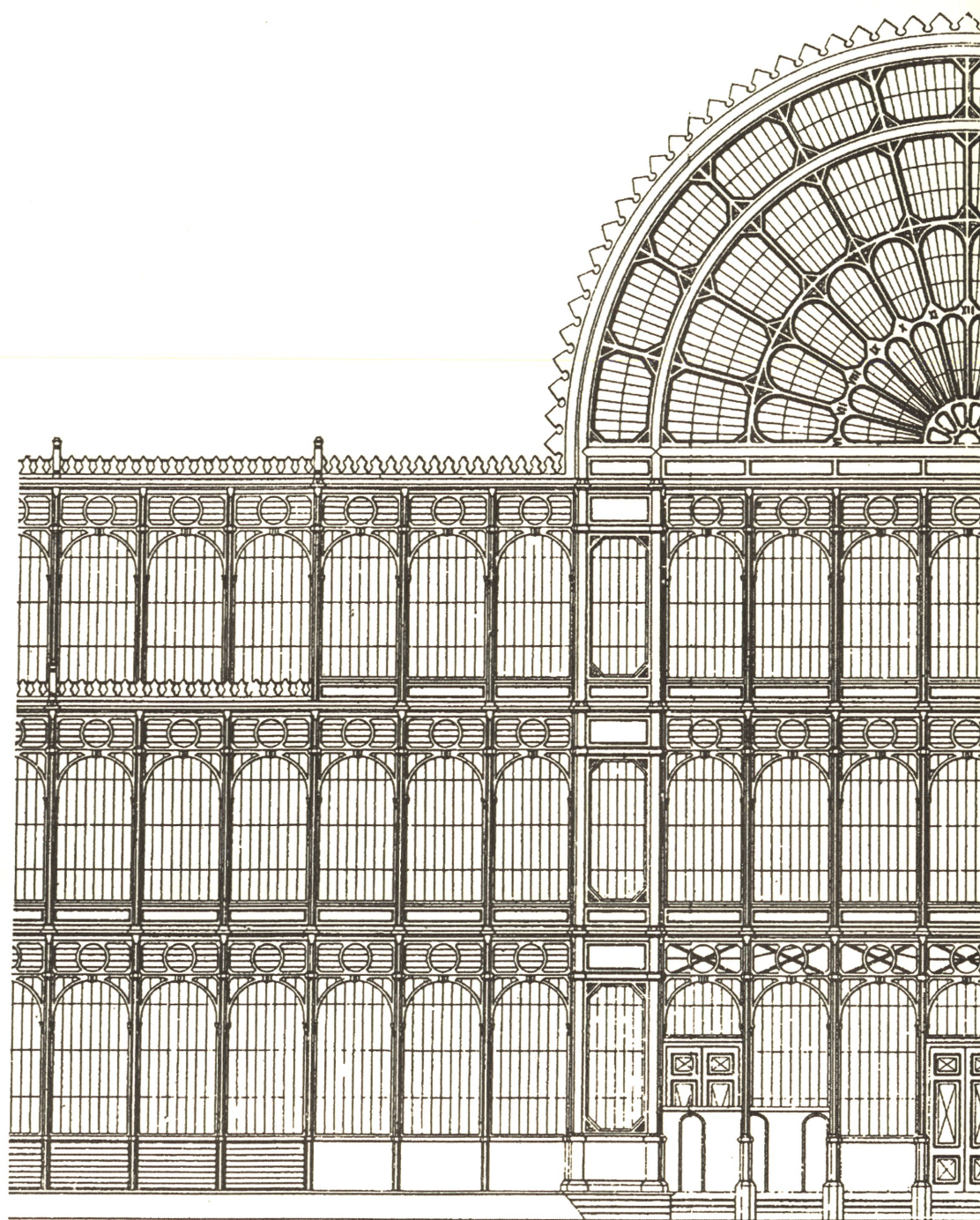
unten:
Die nach dem Modell gezeichnete Abbildung aus: August Kekulé, »Über die Constitution des Mesitylens« Zeitschrift für Chemie, N. F. 3 (1867), S. 214–218, hier: S. 218.



8 Wilhelm Körners Strukturvorschlag für das Benzolmolekül.

obere Reihe:
Kekulé's ursprüngliche Benzolformel und deren Umsetzung im tetraedrischen Kugel-Stäbchen-Modell.

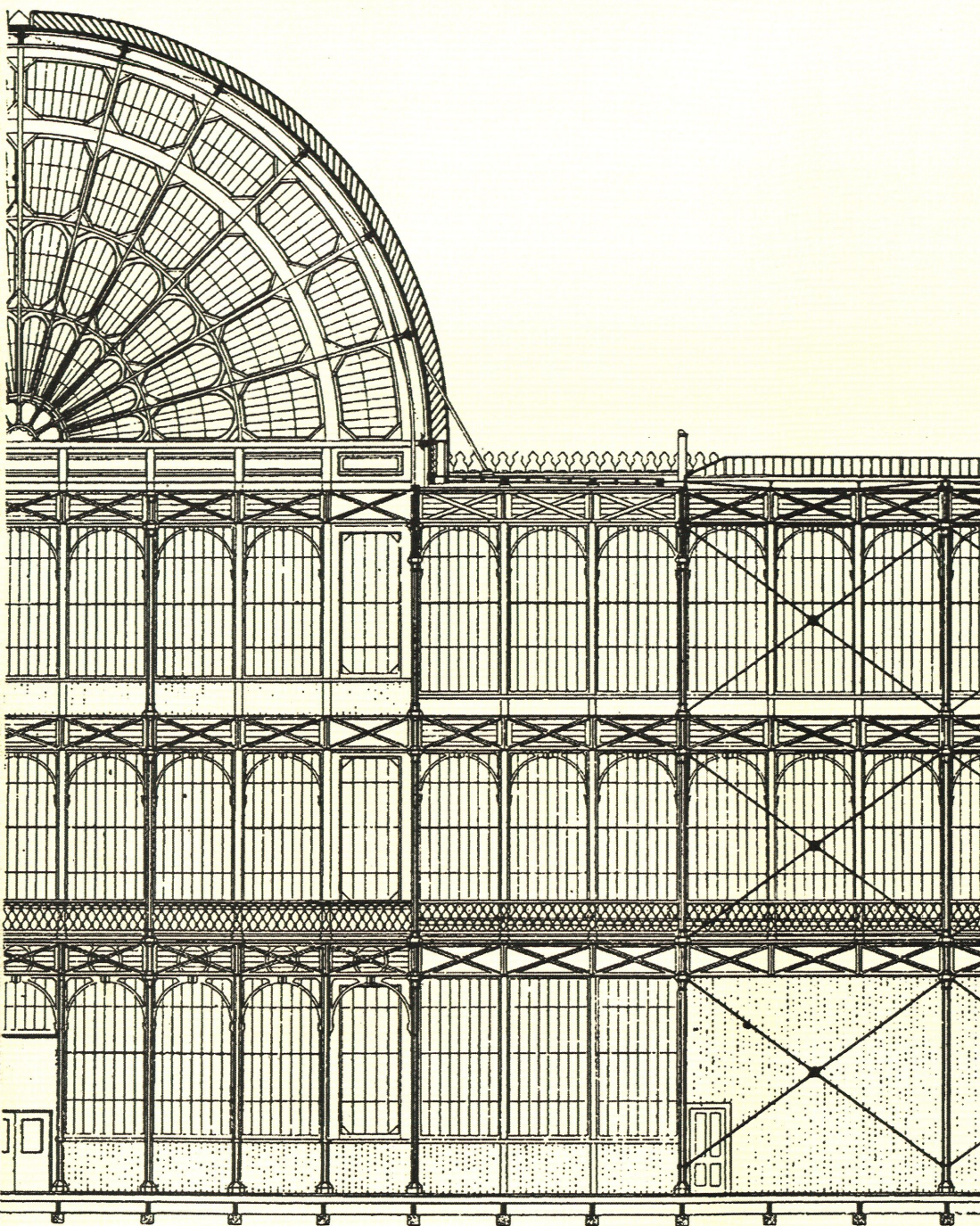
untere Reihe:
Körners Vorschlag mit den schwarzen Kohlenstoffatomen mit jeweils drei weißen Wasserstoffatomen oberhalb und unterhalb des C_6H_6 -Kerns. Aus: G. Körner, »Fatti per servire alla determinazione del luogo chimico nelle sostanze aromatiche«, Giornale di Scienze Naturali ed Economiche di Palermo 5 (1869), S. 212–256, auf S. 237 und 241.



Sieben Jahre später hat ein anderer Kekulé-Schüler, Jacobus Henricus van't Hoff, die Lehre vom räumlichen Bau der Moleküle explizit formulieren und empirisch stützen können. Seine »Chemie im Raum« von 1874, die eine chemische und eine kristallographische Forschungslinie miteinander zur Stereochemie verknüpft, konnte, was die chemische Seite angeht, also bereits auf eine etablierte Tradition aufbauen, räumliche Molekülmodelle als didaktische Hilfsmittel einzusetzen. Bei Kekulé mag van't Hoff auch die ersten Versuche kennengelernt haben, aus solchen Modellen stereochemische Folgerungen abzuleiten. Und es liegt nahe, dass es die Verwendung dreidimensionaler Modelle im Unterricht war, die die nachfolgende Chemikergeneration für die neue Wahrnehmungsweise disponiert hat.

Konstruktion und Erkenntnis

Woher aber kam die neue räumliche Vorstellung vom Bau der Moleküle? Empirische Fakten, die sie erzwingen hätten, lagen nicht vor. Selbst Atom- und Molekülbegriff waren noch strittig, und philosophisch schien es höchst problematisch, solche Konzepte für physische Realität zu halten. Kein geringer als Wilhelm Ostwald, der Begründer der Disziplin Physikalische Chemie, hielt noch bis 1905 daran fest, dass es keine Atome gäbe. Gleichwohl hat sich, kaum waren van't Hoff's neue stereochemische Ideen bekannt geworden, die räumliche Vorstellung vom Bau der Materie rasch und ohne nennenswerten Widerstand durchgesetzt, obwohl noch keine 10 Jahre seit Erfindung der Hofmannschen Kugel-Stäbchen-Modelle vergangen waren.



9

Aufriss des Londoner Architekten Charles Downes vom Crystal Palace für die Weltausstellung von 1851, mit der die Reihe der bis in die Gegenwart reichenden internationalen Industrie- und Gewerbeausstellungen eröffnet wurde.

Aus: The Building erected in the Hyde Park for the Great Exhibition. London: Weale, 1853.

Die Idee scheint also in der Luft gelegen zu haben, wie man sagt. Doch was soll das heißen, etwas »liege in der Luft«?

Neue wissenschaftliche Ideen kommen nicht immer aus der Wissenschaft selbst. Es scheint, als ob die Keime eines neuen Paradigmas (um den Begriff des amerikanischen Wissenschaftshistorikers Thomas Kuhn zu benutzen) von überall her auftauchen können, sofern sie im historischen Erfahrungsraum der Zeit präsent sind. Und in der Tat: Wer Mitte des 19. Jahrhunderts durch London oder Paris ging, begegnete auf Schritt und Tritt Zeugnissen einer neuen Art, Raum aufzufassen und zu gestalten. Der Technikhistoriker Eugene Ferguson hat geradezu von einer »culture of construction« gesprochen und gezeigt, wie solche

Erfahrung auch das »innere Auge« (*the mind's eye*) der Zeitgenossen geprägt hat. Zu den Ikonen dieser neuen Anschauungsform gehören Joseph Paxtons Crystal Palace für die Londoner Weltausstellung von 1851 ⁹ oder die neuen Londoner Bahnhöfe ¹⁰, deren Faszination gerade von der klaren Zurschau-stellung konstruktiv wichtiger Strukturelemente ausging. Im wöchentlichen *The Building News and Engineering Journal* stritten britische Ingenieure und Architekten Mitte der 1860er Jahre um den Primat einer »aesthetics of construction« über eine »aesthetics of decoration«, und zugleich tauchten – zwischen den üblichen Beispielen neogotischer und neo-palladianischer Architektur – anonyme Artikel auf, in denen es um den Vorrang des Konstruktiven, um das Bauen mit Schablonen



THE BUILDING NEWS, MARCH 26, 1869

GEO. GILBERT SCOTT, Esq., R.A., ARCHITECT.

W. H. BARLOW, Esq., ENGINEER.

10

St. Pancras Station, London, 1869 von George Gilbert Scott und W. H. Barlow für die Midland Railway Company gebaut, besaß die größte Spannweite aller bis dahin gebauten Dachkonstruktionen und gilt als Musterbeispiel strukturell-konstruktiven Bauens mit standardisierten Teilen. Aus: The Building News and Engineering Journal 16 (26. März 1869), S. 277-278.

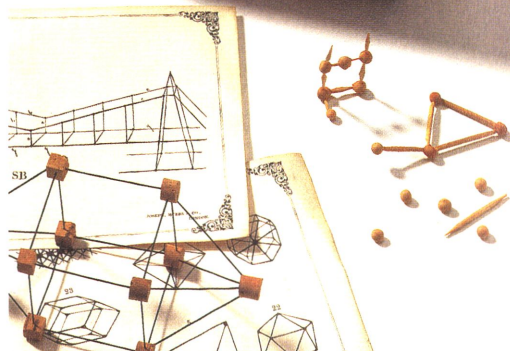
und um das Sichtbarmachen von Naturgesetzen in Strukturen des Bauwerks ging. Wahre Schönheit und Kreativität, so der Tenor dieser Beiträge, baue auf den Grundsätzen von Naturwissenschaft und Konstruktionslehre auf.

Die konstruktive Sicht auf die Wirklichkeit griff weit über das Architektonische hinaus. So konnte man seit den 1850er Jahren in England Baukästen **11** kaufen, die es gestatteten, aus Korkstückchen oder Erbsen und Stäbchen geometrische Gebilde zu stecken. Kinder, die sich mit den elementaren Formen des Festen, des Flächigen und des Linearen

vertraut gemacht hatten, sollten daran die Grundbegriffe des räumlichen Denkens erlernen. Erfunden hatte diese Bausätze Friedrich Fröbel, der Begründer der Kindergarten-Bewegung, die Teil des Aufbruchs im Vormärz war und nach der gescheiterten Revolution von deutschen Emigranten, Frauen zumeist, nach Großbritannien und in die Vereinigten Staaten weitergetragen wurde.

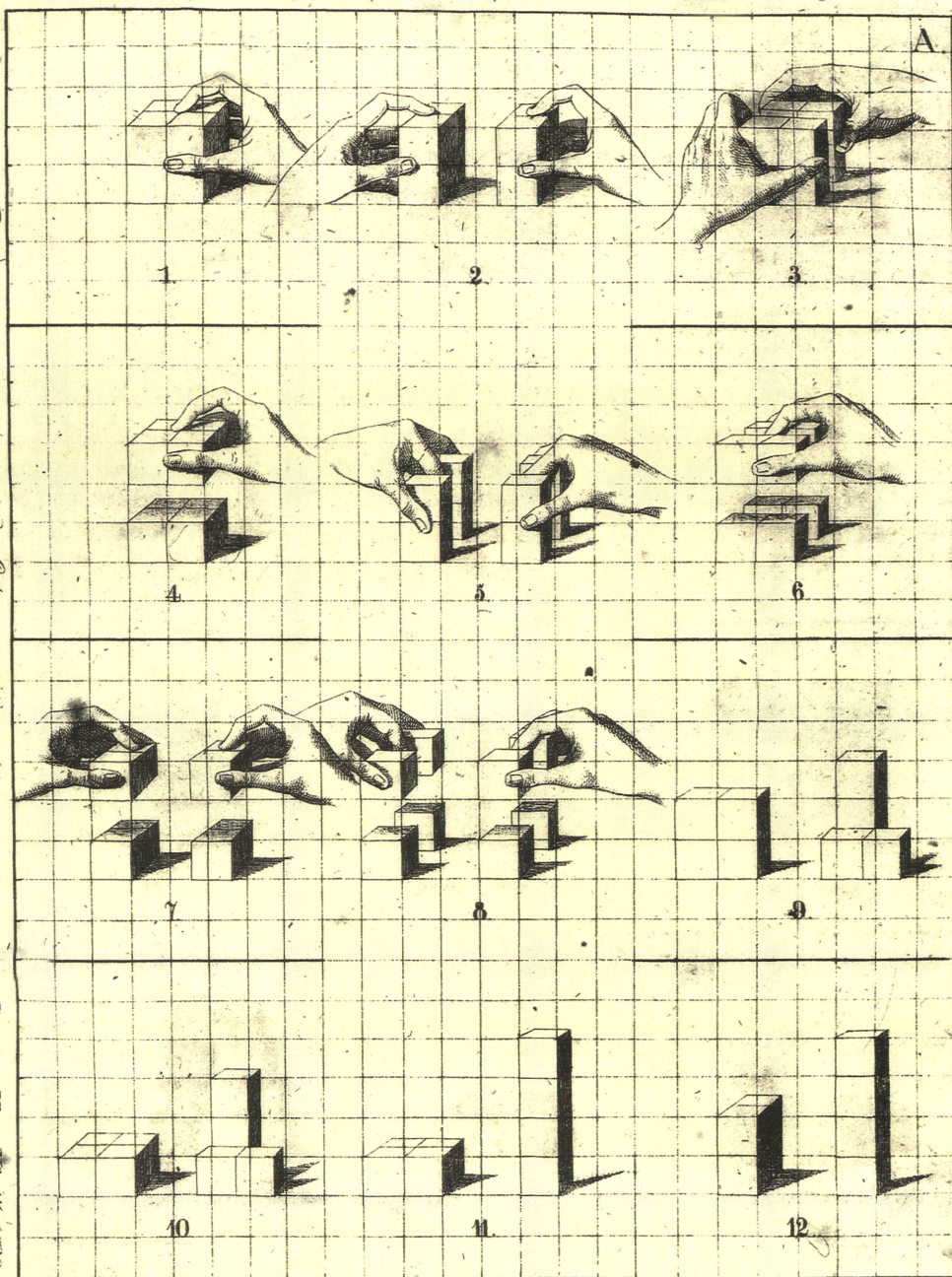
Im Zentrum der Fröbelschen Pädagogik steht die Idee, dass ein Kind abstrakte Begriffe erwirbt, indem es die Dinge der Welt mit den Händen begreift. Aktive Bewegung im Raum und Entwicklung des Erkenntnisvermögens gehörten für Fröbel zusammen; Mit einfachen geometrischen Formen konstruierend, erfasst das Kind die Wirklichkeit, bildet innere Repräsentationen der äußeren Welt und lernt abstrakte Begriffe **12**. Seit den 1840er Jahren kommerziell vertrieben, wurden die sog. Fröbel-Gaben bald zum Rückgrat der Kindergartenpädagogik. International agierende Firmen belieferten einen rasch wachsenden Markt. Die Idee der aktiv konstruierenden, ja ingenieurmäßigen Aneignung von Wirklichkeit faszinierte die Zeitgenossen. Dass wir, indem wir Dinge herstellen, tatsächlich Strukturen des Wirklichen begreifen, ist eine durchaus bürgerliche und dem Geist des heraufkommenden Industriezeitalters gemäße Vorstellung. In den im thüringischen Rudolstadt seit 1880 produzierten Anker-Steinbaukästen, den Vorläufern des heutigen Lego, sollte sie massenhafte Verbreitung erfahren.

Die Molekülmodelle der Chemiker und die Fröbel-Baukästen sind durch mehr als durch bloß oberflächliche Ähnlichkeit verbunden. Auch implizite Philosophie und Gebrauch entsprechen einander. In beiden Fällen handelt es sich um symbolische Werkzeuge, um verborgene Strukturen



11

In den 1850er Jahren wurde das »Peas Work« zum Bau dreidimensionaler Strukturen als »Zehnte Gabe« ins Repertoire der Fröbelschen Kindergartenpädagogik aufgenommen. Oben eine Box mit Erbsen und Zahnstochern; unten eine elegantere Version, beide von der Firma A. N. Myers & Co in London um 1855.



12

An Holzklötzchen zeigte Fröbel, wie abstrakte Ideen – hier der Begriff der Zahl und der einfachen Rechenoperationen – entstehen. Aus: Friedrich Fröbel, Anleitung zum Gebrauche der in dem Kindergarten zu Blankenburg bei Rudolstadt ausgeführten dritten Gabe, Blankenburg 1844 (Friedrich-Fröbel-Museum Bad Blankenburg).

der Wirklichkeit hantierend zu be-greifen und mit innerer Anschauung, d. h. mit Theorie, zu verbinden. Natürlich wäre es naiv anzunehmen, die Chemiker, die mit räumlichen Molekülmodellen experimentierten, hätten sich dazu in Kindergärten anregen lassen. So direkt verlaufen Transferprozesse zwischen den unterschiedlichen Bereichen einer Kultur in den seltensten Fällen. Es wäre historiographisch daher müßig, nach monokausalen Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu suchen. Fest steht: Wer in der Mitte des 19. Jahrhunderts in London lebte, wird die Fröbelschen Baukästen gekannt haben – aber auch die Brücken und Bahnhofshallen aus kraftvollen Stahlträgern oder die Skelettstruktur des Crystal Palace. Sie gehörten zum historischen Erfahrungsraum einer Zeit, in der sich die Geltungsansprüche von Industrie und Bürgertum auch im Konstruktiven manifestierten. Die Erfahrung,

sich die Welt konstruierend zu eigen machen zu können, verbindet die Modelle der Chemiker mit den Fröbelschen Baukästen und den neuen Raum-lösungen der Ingenieure – eine kollektive Erfahrung, die einen epochenspezifischen Blick auf die Wirklichkeit hervorbrachte. Der Kunsthistoriker Michael Baxandall hat dies »the period eye« genannt.

Hand und Verstand

Modelle können mehrfache Botschaften tragen und unterschiedlichen Zwecken dienen. August Wilhelm Hofmann, der Chemiker, der ursprünglich Architekt hatte werden wollen, erfand körperliche Molekülmodelle, um die Aufmerksamkeit der Studenten zu fesseln, um viktorianische Gentlemen von den Möglichkeiten der modernen Syntheschemie zu überzeugen und um die Chemiker als die

Hybridform der Hofmannschen Glyptic Formulæ, jedoch mit tetraedrischen Kohlenstoffatomen. Die Plakette weist einen spanischen Hersteller aus: »Coleccion para demostrar las Combinaciones Quimicas segun A. W. Hofmann, constructor Gonzalez Verdiguier, Madrid« (Science Museum, London, acc. no 1977126).



Baumeister einer neuen Welt zu präsentieren **13**. August Kekulé – auch er zunächst Architekturstudent – tat den entscheidenden Schritt, den Übergang von der ebenen Strukturformel zum tetraedrischen Kohlenstoff, nicht aus theoretischen Überlegungen heraus, sondern zunächst, um ein mechanisches Problem beim Zusammenbasteln seiner Vorlesungsmodelle zu lösen. Über die Macht der Anschauung hat sich diese Anschauungsform – trotz aller erkenntnistheoretischen Vorbehalte – gewissermaßen in die Köpfe eingeschlichen und bei der nachfolgenden Generation eine völlig neue Auffassung vom räumlichen Bau der Materie bewirkt.

Aber eben nicht nur in den Köpfen und in der Anschauung: Die Eroberung des chemischen Raumes geschah auch mit den Händen. Modelle sind Vermittler par excellence. Sie vermitteln zwischen Hand und Verstand. Und wenn Chemie die Kunst ist, stoffliche Bestandteile zu trennen und zielgerichtet wieder zusammenzufügen (wie schon die frühneuzeitliche Definition lautet), dann verbinden Molekülmodelle das, was der Chemiker mit seinen Händen tut, mit dem, was in seinen Reaktionsgefäßen geschieht, und der Art und Weise, wie er dieses Geschehen theoretisch und in Begriffen erfasst.

Aber Modelle vermitteln auch in anderer Hinsicht: als Medium der visuellen Kommunikation zwischen Lehrer und Schüler; als Mittler zwischen dem Wissen des Experten und der Öffentlichkeit; als Verbindungsglied schließlich zwischen den Theorien der Chemie und dem Geist einer Zeit. Modelle schaffen damit einen symbolischen und

gestischen Raum, in den sich Begriffe, Handlungsmuster, kulturelle Orientierungen, aber auch die Geltungsansprüche einer Berufsgruppe einschreiben lassen. Und es ist offenbar die Mehrdeutigkeit dieses symbolischen Raumes, die den Transfer zwischen den einzelnen Bereichen einer Kultur gewährleistet und damit die Entstehung neuen Wissens erleichtert.

Im Fall der Kugel-Stäbchen-Modelle verlief dieser Transferprozess zwischen der Welt des aufstrebenden Industriebürgertums, dessen Selbstbewusstsein neue architektonische Lösungen schuf und das seinen Kindern beibrachte, die Welt er-greifend zu be-greifen, und den Hörsälen und Labors der Chemiker, die das konstruierende Begreifen auf die Welt der Stoffe anwandten. Dass so ein Transfer funktioniert, d. h. dass gesellschaftliche und kulturelle Erfahrung sich in Theorien und Modelle übersetzen lässt, die sich ihrerseits als brauchbar erweisen zum Verständnis der Natur, das ist im Grunde verblüffend – jedenfalls für den, der naturwissenschaftliche Modelle für Abbilder der Natur hält. In seinem Buch »Die Maus, die Fliege und der Mensch« schreibt der französische Genetiker François Jacob über den Entdeckungsprozess in der Molekularbiologie: »Nachdem man ein Modell hervorgebracht hat, das man selbst nur mit Mühe ernst nimmt, stellt man erstaunt fest, dass es einen Teil Wahrheit enthält; dass die Welt, oder zumindest ein kleines Bruchstück der Welt, genau dem entspricht, was man ersonnen hat. Zumindest vorläufig.«

Prof. Dr. rer. nat.

Christoph Meinel

geb. 1949 in Dresden. Studium der Chemie, danach der Geschichte und Wissenschaftsgeschichte in Marburg, Promotion 1977. Postdoc-Jahr an der University of Kent, Habilitation 1987 in Hamburg. 1987–1990 Fellow am Wissenschaftskolleg zu Berlin und Koordinator des Verbundes für Wissenschaftsgeschichte. 1990 Professur für Geschichte der Naturwissenschaften in Mainz. Seit 1990 Lehrstuhl für Wissenschaftsgeschichte an der Universität Regensburg. Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. *Forschungsgebiete:* Naturwissenschaften und Naturphilosophie in der Frühen Neuzeit; Chemie im 18. und 19. Jahrhundert.