

NDB-Artikel

Kekulé, August | Chemiker, * 7.9.1829 Darmstadt, † 13.7.1896 Bonn.

Genealogie

V Karl K. (1773-1847), Oberkriegsrat in D., S d. hess. Rats u. Kammersekr. Wilhelm (1735-1806) u. d. Philippine Katharina Coester;

M Margarete (1793-1852), T d. Zollverwalters Peter Jacob Seyb in D. u. d. Margarete Schneider; *Halb-B* →Karl (1821-91), Großkaufm. in London;

- • 1) Gent 1862 Stephanie (1842-63), T d. George William Drory, Ing., Gen.insp. d. Imperial Continental Gas-Association in London, Mitgl. d. Royal Society, u. d. Stephanie Maria van Aken aus Gent, 2) Bonn 1876 Luise (1845-1920), T d. Restaurateurs Karl Joseph Hoegel in Köln u. d. Veronica Donata Antonia Arnold;

1 S aus 1) →Stephan (s. 3), 1 S (kinderlos), 2 T aus 2);

N →Reinhard (s. 2), →Ludwig Weis (1830-1913), Gymnasialprof., phil. Schriftsteller.

Leben

K. gehört zu den erfolgreichsten Chemikern des 19. Jahrhunderts. In der Valenz- und Strukturlehre faßte er die gesamten chemischen Erfahrungen seiner Zeit zu einer Theorie zusammen, die auf Jahrzehnte hinaus die Grundlage aller deduktiven Forschung im Gebiete der organischen Chemie bildete (J. Volhard). Durch die Aufstellung der Strukturformel des Benzols hat er den Bereich der aromatischen Verbindungen erschlossen. Über Ereignisse und Begegnungen, die seinen Werdegang beeinflußt haben, liegen autobiographische Auskünfte vor. Sein langjähriger Assistent und späterer Nachfolger R. Anschütz hat eigene Erfahrungen, Berichte und Dokumente zu einer ausführlichen Biographie verarbeitet. Briefwechsel mit Fachgenossen, Schülern und Freunden sind erhalten.

Im Hause einer angesehenen Familie verlebte K. eine sorglose, glückliche Jugend. Als erfolgreicher Schüler schloß er die Schulzeit auf dem Ludwig-Georgs-Gymnasium in Darmstadt im Herbst 1847 mit dem Abitur ab. Mit Interesse und Eifer begann er in Gießen das Architekturstudium, einem Vorschlag des mit berühmten Architekten (unter anderem Georg Moller) befreundeten Vaters folgend, der dem Sohn aufgrund guter Leistungen in Mathematik und im Zeichnen eine besondere Begabung für dieses Fach zuschrieb. Aber Liebigs Vorlesungen über Experimentalchemie (SS 1848) „verführten“ ihn zur Chemie. Dem Wunsche umzusatteln, trat die Familie, deren

finanzielle Lage sich durch den Tod des Vaters (1847) verschlechtert hatte, wegen Aussichtslosigkeit des Chemiestudiums mit Vorbehalten entgegen. Nach einer Bedenkzeit, während der er unter anderem seine chemischen Kenntnisse an der Höheren Gewerbeschule in Darmstadt unter F. Moldenhauer erweiterte, begann K. im SS 1849 seine Studien in Liebigs Laboratorium in Gießen. Er hörte außer chemischen Vorlesungen auch solche physikalischen Inhalts sowie unter anderem Mineralogie, Geologie und bei H. Kopp Kristallographie.

Zum Grundstock der praktischen Ausbildung in der organischen Chemie gehörte die von Liebig zu einem zuverlässigen Hilfsmittel ausgebaute Elementaranalyse, die zur empirischen „Summenformel“ führte, einer Angabe, in welchen Gewichtsverhältnissen die an einer chemischen Verbindung beteiligten Elemente darin vertreten sind. Um aber die Fülle organischer Verbindungen, die schon in wenigen Jahrzehnten ins Unübersehbare angewachsen war, sinnvoll ordnen und gliedern zu können, wurden aufgrund der Eigenschaften und des chemischen Verhaltens der Körper „rationelle Formeln“ aufgestellt, die diesen Gegebenheiten Rechnung tragen sollten. Die für die anorganische Chemie so fruchtbare elektrochemisch-dualistische Vorstellung von Berzelius, die jeden Körper aus einem elektropositiven, basischen und einem elektronegativen, sauren Partner bestehend annahm, wurde von ihrem Urheber auch für die organische Chemie erwogen; denn gewisse Atomkomplexe, die sich bei chemischen Umsetzungen als relativ stabil erwiesen – sie wurden in Analogie zur anorganischen Chemie als „zusammengesetzte Radikale“ bezeichnet; zu ihnen zählte das Cyan sowie die von Liebig und Wöhler bearbeitete Gruppe Benzoyl C_6H_5-CO und das Äthyl C_2H_5 (alle Formeln in moderner Schreibweise) –, spielten im chemischen Geschehen der organischen Verbindungen eine ähnliche Rolle wie die Radikale (zum Beispiel die Metalle) im anorganischen Bereich. Aber die Entdeckung, daß elektropositive Elemente, zum Beispiel Wasserstoff, gegen elektronegative, zum Beispiel Chlor, austauschbar (substituierbar) sind, ohne daß der chemische Charakter der Verbindung sich dadurch wesentlich ändert, stand im Widerspruch zur dualistischen „Radikaltheorie“. Besonders die französischen Chemiker J. B. A. Dumas, A. Laurent und Ch. Gerhardt stellten dem elektrochemischen Antagonismus „unitarische“ Systeme gegenüber. Zu K.s Studienzeit war die Kontroverse über dieses Thema in vollem Gange. Da aber Liebig seit Ende der 30er Jahre seine ganze Arbeitskraft der Agrikulturchemie und der physiologischen Chemie widmete, stand in Gießen der Meinungsstreit über Konstitutionsfragen nicht im Vordergrund.

K. absolvierte analytische und präparative Lehrgänge unter Liebigs Mitarbeitern Th. Fleitmann und H. Will. Eine wenn auch nur routinemäßige Experimentalarbeit „Über die Amyloxydschwefelsäure und einige ihrer Salze“ (in: Annalen der Chemie und Pharmazie 75, 1850, S. 275-93) erledigte er zur vollen Zufriedenheit Wills. Sie wurde zwei Jahre später der Promotion zugrunde gelegt. Im Wintersemester 1850/51 arbeitete K. in Liebigs Privatlaboratorium, und zwar, dem damaligen Gebiet Liebigs entsprechend, über Kleber und Weizenkleie, ein Thema, das dem zu theoretischen Überlegungen neigenden K. nicht ganz entsprach.

Die Möglichkeit, durch einen Hochschulwechsel den Gesichtskreis zu erweitern, bot sich durch K.s Halbbruder Karl, der dem Jüngeren die finanzielle Unterstützung für einen einjährigen Auslandsaufenthalt zusagte. Liebig riet zu Paris, der Sprachkenntnisse wegen. Chemie werde K. dort nicht viel lernen. Die Prognose bewahrheitete sich nicht. Mit Empfehlungsschreiben von Liebig traf K. im Mai 1851 in Paris ein. Durch Besuch chemischer und physikalischer Vorlesungen fand er Zugang zu den großen Bildungsanstalten: Sorbonne, École de Médecine, Collège de France, Conservatoire des Arts et Métiers. Er hörte unter anderem bei Dumas, dem Begründer der unitarischen, auch als ältere Typentheorie bezeichneten „Substitutionstheorie“, die jede Verbindung als geschlossenes Ganzes erklärte und vom Zwange der Bipolarität frei hielt. Er trat in freundschaftliche Beziehung zu A. Wurtz, dem Entdecker der Alkylamine, der von Liebig vorausgesagten Substitutionsprodukte des Ammoniaks. Vor allem machte er „durch Zufall die Bekanntschaft und erwarb die Freundschaft von Gerhardt, der in jener Zeit gerade die wasserfreien Säuren entdeckte und das schon fertig vorliegende Manuscript seines berühmten Lehrbuchs zum Druck vorbereitete“. K. hatte auf der Anreise bereits Gerhardts Schrift „Introduction à l'étude de la chimie par le Système unitaire“ (1848) studiert. Nun erhielt er durch den persönlichen Umgang einen Überblick über das gesamte Gebiet der organischen Chemie, und er nahm als unmittelbarer Zeuge an einer Systematisierung der organischen Körper teil. Die neue „Typenlehre“ war Gerhardts letzter Entwurf einer umfassenden Klassifikation. 1856 starb er im vierzigsten Lebensjahr. Seine theoretischen Vorstellungen hat er im 4. Teil seines Lehrbuches „Tratté de chimie organique“ zusammengefaßt. Danach werden alle chemischen Verbindungen auf 4 einfache Stammkörper, nämlich H_2O , HCl , NH_3 und HH bezogen. Die organischen Verbindungen erhält man durch Austausch von Wasserstoffatomen der Stammkörper durch organische Radikale, zum Beispiel C_2H_5-OH (Wassertypus), $H-CH_3$ (Wasserstofftypus). Zu diesen Hauptreihen existieren Nebenreihen, ableitbar aus verwandten Körpern, etwa H_2S , HBr und HJ , PH_3 . Um auch kompliziertere Verbindungen einordnen zu können, werden durch Vervielfachung der einfachen Typen die „multiplen Typen“ gebildet. Hatten die Untersuchungen der Amine durch Wurtz und A. W. Hofmann den Ammoniaktypus nahegelegt, so erfuhr der Wassertypus, den schon Laurent den Alkoholen und Äthern zugrunde gelegt hatte, durch die Ätheruntersuchungen des Engländers A. Williamson eine besondere Bestätigung. Auch die Essigsäure und die von Gerhardt gerade entdeckten Säureanhydride ließen sich diesem Typus zuordnen. Damit wurden experimentelle Ergebnisse der jüngsten Zeit in Betracht gezogen.

Die Begegnung mit Gerhardt wurde bestimmend für K.s spätere Forschungsart und -richtung. Die Typenlehre wurde zur Ausgangsbasis seiner eigenen Theorien. Indem er sie anwandte und an ihrer Erweiterung teilnahm, erkannte er ihre Grenzen und Schwächen und fand den Weg, der zu einer umfassenden Lösung führte. Gerhardts System lehnt an Vorstellungen von Dumas und Laurent an. Zentraler Begriff ist das „Radikal“, hier jedoch nicht wie im Dualismus eine fest bestehende, isolierbare Atomgruppe, sondern ein Komplex, der bei gewissen Umsetzungen erhalten bleibt, bei anderen aber Spaltungen erleiden kann. Auch Atome, zum Beispiel Wasserstoff oder Chlor, spielen die Rolle von Radikalen. Damit lassen sich die Stammkörper zwar alle aufeinander beziehen; die Einteilung nach den 4 angegebenen Mustertypen bleibt

aber dennoch zweckmäßig. Wichtig ist, daß den Radikalen ein bestimmter „Substitutionswert“ zugeordnet wird, ihre „Atomigkeit“. „Einatomig“ sind Radikale, die 1 Atom Wasserstoff in einer Verbindung ersetzen (Beispiel: C_2H_5-OH im Wassertyp). Entsprechend gibt es „zweiatomige“, „dreiatomige“ Radikale (Beispiele: SO_2 beziehungsweise PO in multiplen Wassertypen). Liebig's Lehre von der einfachen und mehrfachen „Basizität“ der Säuren (1838) erfuhr hier eine Fortsetzung. Andererseits war die Atomigkeit der Vorläufer der Begriffe „Wertigkeit“ und „Valenz“, Wortprägungen, die auf E. Erlenmeyer (1860) beziehungsweise C. H. Wichelhaus (1868) zurückgehen. Gerhardt unterschied, fußend auf Laurent und gestützt auf das Avogadro'sche Gesetz und chemische Umsetzungen, die Begriffe Äquivalent, Atomgewicht, Molekulargewicht, und er drückte infolgedessen das Wasser durch die Formel H_2O und die Formeln der organischen Verbindungen durch die damals noch kaum gebräuchlichen Atomgewichte $H = 1$, $O = 16$, $C = 12$ aus, Darstellungsweisen, die K. den Weg zur Strukturtheorie ebneten. Neuartige und aussagereiche Formelbilder machten die Umsetzungsmöglichkeiten, die in einer Verbindung steckten, deutlich. Die „typische“, besonders bei multiplen Typen mehrzellige Formel enthielt einerseits das Radikal als Hinweis auf die „genetische Beziehung“. Der dem Typus angepaßte restliche Bestandteil zeigte dann den chemischen Charakter der Substanz (zum Beispiel Alkohol, Säure oder Amin) an. K. war von den Klassifikationsmöglichkeiten, die aus Gerhardts Lehre resultierten und deren eigentliches Ziel ausmachten, tief beeindruckt. Mit den neuen Hilfsmitteln waren Wege geschaffen, eine große Zahl organischer Körper übersichtlich und leicht faßbar schematisch einzuordnen. Indem Gerhardt im Hauptteil des „Traité“ zunächst eine Ordnung nach „homologen Reihen“, dann in einer Unterteilung nach den Typen vornahm, im 4., dem theoretischen Teil, aber die Typeneinteilung der Untergruppierung nach homologen Reihen vorangehen ließ, exerzierte er verschiedene Ordnungsprinzipien vor.

K. kehrte im April 1852 nach Darmstadt zurück, erwarb im Laufe des Sommersemesters den Dr. phil. in Gießen und nahm anschließend eine Tätigkeit als Privatassistent bei dem Schweizer Liebig'schüler A. von Planta an, wo er während eines anderthalbjährigen Aufenthalts auf dessen Schloß in Reichenau bei Chur „reichlich Muße (hatte), das, was (er) durch Einblick in jenes noch nicht veröffentlichte Manuscript (Gerhardts) gelernt hatte, selbständig zu verarbeiten“. Außerdem entstanden gemeinsam mit Planta einige Experimentaluntersuchungen, darunter 2 Arbeiten über die Alkaloide Nikotin und Coniin.

Ende 1853 siedelte K. nach London über, und zwar wurde er – wieder durch Liebig's Vermittlung – Privatassistent von J. Stenhouse, Professor am Bartholomew's Hospital. Zwar war die Arbeit bei Stenhouse, Analyse von Drogen, wenig befriedigend. Doch fand K. durch seinen einstigen Studiengenossen, den Liebig'schüler Reinhold Hoffmann, jetzt Assistent bei A. Williamson, ebenfalls Liebig'schüler und Professor der Chemie am University College in London, Zugang zu einer um Williamson geschahen Gruppe etwa altersgleicher englischer und deutscher Chemiker, die sich intensiv mit Konstitutionsfragen beschäftigten. Williamson war Anhänger der Typenlehre, machte aber Vorbehalte. In Abweichung von Gerhardt, der betonte, daß die rationellen Formeln nicht wie in der dualistischen Theorie

den inneren Aufbau des Moleküls ausdrücken, sondern nur auf die möglichen Umsetzungen der Körper sowie auf gewisse Analogien und Beziehungen untereinander hindeuten sollten, gab Williamson diesen Formeln einen konstitutionellen Sinn als Abbilder der Atomanordnung, vergleichbar einem Planetarium als Abbild des Planetensystems. Die chemischen Formeln drückte er in Gerhardtschen Atomgewichten aus, hob aber die Zeichen für zweiatomige Elemente durch Querstriche gegen die Äquivalentbezeichnungen ab (zum Beispiel = 16 gegenüber O = 8). Vor allem demonstrierte er an Beispielen, daß es mehratomige Radikale seien, die in multiplen Typen den Zusammenhalt der Bestandteile bewerkstelligen. Um die Substitutionswerte der Elemente und Radikale augenfällig zu machen, hat Williamsons Schüler W. Odling, ebenfalls akademischer Lehrer in London, als Markierungen kleine hochgestellte Striche eingeführt, zum Beispiel H', Cl', CH₃) ' (Substitutionswert 1), O'', S'', CH₂'' (Substitutionswert 2), Ausdrucksformen, die K. übernahm. K. begegnete auch dem ehemaligen Mitarbeiter des Marburger Ordinarius H. Kolbe, Eduard Frankland, der 1852 die Tendenz der Elemente Stickstoff, Phosphor, Arsen und Antimon feststellte, Verbindungen zu bilden, in welchen 3 oder 5 Äquivalente anderer Elemente enthalten sind.

In diesem Kreise erhielt K. die Anregung zu seiner ersten selbständigen Experimentalarbeit „Notiz über eine neue Reihe schwefelhaltiger organischer Säuren“ (Annalen 90, 1854, S. 309-16). Anlaß waren Zweifel, die H. Kolbe, Anhänger der dualistischen Vorstellung und Gegner der Gerhardtschen Typenlehre, gegenüber den Williamsonschen, dem Wassertypus zugeordneten Formeln von Alkohol, Äther und Essigsäure erhob. K. schlug Parallelversuche mit der Schwefelreihe (Typus H₂S) vor, die „vollständig der Reihe des Wassers gleich laufen müssen“ und, falls das Experiment positiv ausfiel, Williamsons Auffassung erhärten würden. Es gelang ihm, durch Reaktion von Phosphorschwefel mit Alkohol, Äther und Essigsäure die entsprechenden Schwefelhomologen herzustellen. Bemerkenswert über die Synthese neuer Körper, unter ihnen die Thiacetsäure CH₃COSH, hinaus ist die Schlußbetrachtung. Die Ergebnisse werden als Beweis für die Zweiatomigkeit der Elemente Schwefel und Sauerstoff gewertet. Es ist anders nicht einzusehen, warum Phosphorsulfid und Alkohol das einheitliche Merkaptan C₂H₅SH liefern, während die Parallelreaktion mit Phosphorchlorid zwei getrennte Produkte, nämlich C₂H₅Cl + HCl ergibt. Dabei wird die neue Gerhardtsche Schreibweise (in Atomgewichten) den Gegebenheiten besser gerecht als die alte Schreibart (in Äquivalenten). „Es ist eben nicht nur Unterschied in der Schreibweise, vielmehr wirkliche Tatsache, daß 1 Atom Wasser (hier gleichbedeutend mit Molekül) 2 Atome Wasserstoff und nur 1 Atom Sauerstoff enthält; und daß die Einem unteilbaren Atom Sauerstoff äquivalente Menge Chlor durch 2 teilbar ist, während der Schwefel, wie Sauerstoff selbst, zweibasisch ist, so daß 1 Atom äquivalent ist 2 Atomen Chlor.“ Auf diese Abhandlung, in der K. als erster die Verschiedenheit in der Valenz der Elementaratome zum Ausdruck bringt, in der er ausspricht, daß es einbasische und mehrbasische Elementaratome gebe, stützt er später Prioritätsansprüche auf die Grundzüge der Valenztheorie.

Weiterem eigenständigem Experimentieren seines Privatassistenten räumte Stenhouse offenbar keinen Spielraum, auch nicht vor Dienstbeginn ein.

Indessen führten theoretische Überlegungen K. zu tiefen Einsichten. Die organischen Körper wurden allgemein als Verbindungen kohlenstoffhaltiger Radikale behandelt, deren Konstitution zu ergründen dringende Aufgabe, aber bisher nicht gelungen war. K. faßte nach eigenen Angaben bereits in London den Gedanken, daß der Lösungsweg in der Vieratomigkeit des Kohlenstoffs und in dessen Fähigkeit, Ketten zu bilden, zu suchen sei. Auf nächtlicher Heimfahrt durch die öden Straßen der Weltstadt, auf dem Dache eines Omnibusses sitzend, so erzählt er später, versank er in Träumereien. „Da gaukelten vor meinen Augen die Atome. Ich hatte sie immer in Bewegung gesehen, jene kleinen Wesen, aber es war mir nie gelungen, die Art ihrer Bewegung zu erlauschen. Heute sah ich, wie vielfach zwei kleinere sich zu Pärchen zusammenfügten, wie größere zwei kleine umfaßten, noch größere drei und selbst vier der kleinen festhielten, und wie sich Alles in wirbelndem Reigen drehte. Ich sah, wie größere eine Reihe bildeten und nur an den Enden der Kette noch kleinere mitschleppten. ... Der Ruf des Conducteurs: „Clapham road“ erweckte mich aus meinen Träumereien, aber ich verbrachte einen Theil der Nacht, um wenigstens Skizzen dieser Traumgebilde zu Papier zu bringen. So entstand die Strukturtheorie.“ K.s Selbstvertrauen und Selbständigkeit hatten im Umgang mit dem Londoner Gelehrtenkreis sehr gewonnen. Trotz günstiger Angebote konnte er sich nicht für eine Tätigkeit in der englischen Industrie entscheiden und beschloß, an einer deutschen Universität Hochschullehrer zu werden.

Mit diesem Ziel kehrte K. 1855 nach Deutschland zurück. In Heidelberg, wo Bunsen mit großer Schülerschar vorwiegend anorganische und physikalische Chemie betrieb, hoffte er als Organiker einen Hörerkreis zu finden. Die Habilitation fand im März 1856 unter Bunsen statt. Aussicht auf weitere Unterstützung von seiten der Universität konnte nicht gewährt werden. In einer beengten, selbstgemieteten Arbeitsstätte – Bruder Karl half wieder finanziell, das Mobiliar war von der Universität geliehen – versammelte sich eine erlesene Gemeinde junger Chemiker. Etliche kamen später zu Rang und Namen, unter anderem E. Erlenmeyer, Adolf Baeyer, H. Landolt, F. Beilstein, →Lothar Meyer, L. von Pebal, H. E. Roscoe. Mit einer überzeugenden, durchsichtigen Art des Vortrags der geborene akademische Lehrer, begeisterte K. durch seine Vorlesungen und machte die Schüler mit den Theorien Gerhardt's und Williamsons vertraut. Wie die Vorlesungsmitschrift eines Hörers aus dem Wintersemester 1857/58 ausweist, führte er schon damals seine eigenen graphischen Strukturformeln vor, die erst in seinem „Lehrbuch“ zum Druck kamen.

K.s wissenschaftliches Anliegen war der Ausbau der in London konzipierten Strukturtheorie. Ein zusammenfassendes Manuskript wurde über ein Jahr in eine Schublade verbannt, denn „eines von beiden“, so dachte er, „ist noch nicht reif, entweder die Theorie oder die Zeit“. Erste Andeutungen seiner neuen Ideen brachte er in einer Experimentaluntersuchung „Über die Constitution des Knallquecksilbers“ (Annalen 101, 1857, S. 200-13). Darin wird die Analogie dieser Verbindung und anderer bekannter organischer Körper, unter anderem Chlormethyl CH_3Cl , Chloroform CHCl_3 , Acetonitril $\text{CH}_3\text{-CN}$, mit dem von ihm hier eingeführten Formeltypus des Sumpfgases CH_4 aufgezeigt. Die Vierwertigkeit des Kohlenstoffs wird in dieser Publikation

schon implizit behauptet. Zwei theoretische Abhandlungen folgten. Äußerer Anlaß waren in der Literatur auftretende Formulierungen der Sulfosäuren (Limpricht, von Uslar, Mendius), zu denen K. kritisch Stellung nimmt. In der ersten Schrift „Über die so genannten gepaarten Verbindungen und die Theorie der mehratomigen Radicale“ (Annalen 104, 1857, S. 129-50) bezieht sich K. auf „leitende Ideen“ von Williamson und auch auf Odling und verwendet deren Symbolik. In dem Abschnitt „Idee der Typen“ wird eine Einteilung der Elemente nach ihrer Basizität oder Atomigkeit in einatomige (zum Beispiel H, Cl, K), in zweiatomige (zum Beispiel S) und dreiatomige (zum Beispiel N, P, As) vorgenommen. In diesem Zusammenhang wird der Kohlenstoff, allerdings nur in einer Anmerkung, explizit von K. als vieratomiges Element bezeichnet: „Der Kohlenstoff ist, wie sich leicht zeigen läßt und worauf ich später ausführlich eingehen werde, vierbasisch oder vieratomig; das heißt 1 Atom Kohlenstoff = = 12 ist äquivalent 4 At. H. Die einfachste Verbindung des C mit einem Element der ersten Gruppe, mit H oder Cl zum Beispiel ist daher: H_4 und Cl_4 .“ Zahlreiche Beispiele chemischer Verbindungen, systematisch von einfachen zu komplizierten aufsteigend, werden dann in typischen Formelbildern ausgedrückt. Vor allem soll die Rückführung auf multiple und auf die aus unterschiedlichen einfachen Typen kombinierten „gemischten“ Formeln demonstriert werden. Die multiplen und gemischten Formeln führten von dem ursprünglichen Typengedanken ab und bahnten den Übergang zur Strukturchemie an. In der 2. theoretischen Abhandlung „Über die Constitution und die Metamorphosen der chemischen Verbindungen und über die chemische Natur des Kohlenstoffs“ (Annalen 106, 1858, S. 129-59) nimmt K. Abstand von der Typenlehre. Um die Eigenschaften der chemischen Verbindungen erklären zu können, muß man zurückgehen bis auf die Elemente selbst, die die Verbindungen zusammensetzen. Es sei nicht mehr „Hauptaufgabe der Zeit, Atomgruppen nachzuweisen, die gewisser Eigenschaften wegen als Radicale betrachtet werden können, und so die Verbindungen einigen Typen zuzuzählen, die dabei kaum eine andere Bedeutung als die einer Musterformel haben“. Die Betrachtung muß sich auf die Konstitution der Radikale selbst erstrecken. Aus der Natur der Elemente ist sowohl die Natur der Radikale wie die ihrer Verbindungen herzuleiten. Dazu ist es nötig, sich zunächst eine Vorstellung über die Natur des Kohlenstoffs zu bilden. Die einfachsten Verbindungen des Kohlenstoffs, zum Beispiel CH_4 , $CHCl_3$, $COCl_2$, CS_2 , CNH , lassen erkennen, daß ein Atom Kohlenstoff 4 Atome eines einatomigen oder 2 Atome eines zweiatomigen Elementes und so weiter bindet, das heißt die Summe der mit einem Atom Kohlenstoff verbundenen chemischen Einheiten ist gleich 4. „Dies führt zu der Ansicht, daß der Kohlenstoff vieratomig (oder vierbasisch) ist.“ Anschließend geht K. auf die Kettenbildung ein. „Für Substanzen, die mehrere Atome Kohlenstoff enthalten, muß man annehmen, ... daß die Kohlenstoffatome selbst sich aneinanderlagern, wobei ein Theil der Affinität des einen gegen einen ebenso großen Theil der Affinität des anderen gebunden wird.“ K. erörtert dann den Fall indirekter Bindung über die Brücke eines mehratomigen Elementes, das nur mit einer Einheit an Kohlenstoff hängt, zum Beispiel C_2H_5-OH oder $C_2H_5-NH_2$. Eine große Anzahl organischer Verbindungen gehört dieser Klasse mit „einfachster“ Aneinanderlagerung der Kohlenstoffatome an. Doch gibt es andere, zum Beispiel Benzol und Naphthalin und ihre Abkömmlinge, die Kohlenstoff in „dichterer“ Aneinanderlagerung enthalten. Als Prinzip einer zeitgemäßen Klassifikation wird eine Einteilung nach diesen 3 Klassen,

Fettkörper, aromatische Substanzen und Naphthalingruppe, angegeben; Gesichtspunkte von Unterteilungen sind Atomigkeit der Radikale, Vertretung von Wasserstoff im Radikal durch Sauerstoff und die homologen Reihen.

Für die Publikation der neuen Theorie, die im Mai 1858 im Druck erschien, war es höchste Zeit. Unabhängig von K. trat wenige Wochen später der in Paris bei Wurtz arbeitende Schotte A. S. Couper mit dem gleichen Gedanken der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs und der Kettenbildung an die Öffentlichkeit. Da er K.s Schriften nicht kannte, erhob er Prioritätsansprüche, die K. widerlegte. Als erster hat Couper in seinen Formeln die Bindungen durch eine Art Striche, nämlich punktierte Linien, symbolisiert. K.s Abhandlungen enthielten damals noch keine graphischen Darstellungen.

K.s theoretische Veröffentlichungen machten seinen Namen in Fachkreisen bekannt, und bereits im Herbst 1858 wurde er auf Anregung von J. S. Stas an die Universität Gent berufen. Ein glänzendes und geschickt abgefaßtes Empfehlungsschreiben Liebig's ebnete K. die Wege. Er hat die Erwartungen des Ministeriums, eine zeitgemäße Ausbildung von Chemikern nach Gießener Vorbild aufzubauen, voll erfüllt. Schon in der ersten, in französischer Sprache gehaltenen, durch sorgfältig vorbereitete Experimente belebten Vorlesung brach er den Widerstand der den Ausländer zunächst ablehnenden Studenten. Die ärmlichen Laboratoriumseinrichtungen seines Vorgängers wurden nach seinen Angaben verbessert, bauliche Erweiterungen bewilligt. Während die neuen Praktikumsräume erst 1860/61 gebrauchsfertig wurden, konnten Forschungsarbeiten sofort aufgenommen werden. Mitarbeiter im beengten Privatlabor waren unter anderem Baeyer, bis er 1860 zur Habilitation nach Berlin übersiedelte, G. Ch. Foster, ein Assistent von Williamson, E. Linnemann und H. Hübner, später Herausgeber der von K. mitbegründeten Zeitschrift für Chemie. Hauptthema waren die organischen Säuren, ihre Substitutionsprodukte, Umwandlungen, Isomerieerscheinungen, unter anderem Malein- und Fumarsäure. Einige dieser Arbeiten wurden vor dem Erscheinen in den Annalen erst im Bulletin de l'Académie Royale de Belgique publiziert.

Die Abende waren der Arbeit an einem schon in Heidelberg begonnenen Lehrbuch gewidmet. K. bekennt sich zu Gerhardt und seinem Werk, dessen Systematik „eine Übersichtlichkeit darbietet, wie sie kein anderes System vorher auch nur annähernd erreichte“. (Zeitschrift für Chemie 1, 1858.) Die theoretischen Abhandlungen der Heidelberger Zeit waren eine nützliche Vorarbeit und wurden erweitert und vertieft. Dem Stande der Kenntnisse entsprechend wird das dort vorgeschlagene Einteilungsprinzip gewählt. Die Grundbegriffe, ebenso die Typen, die Radikale, die typischen Formeln mit ihren Erweiterungen, die chemischen Metamorphosen werden mit großer Eindringlichkeit eingeführt und behandelt. Daß bei den häufig auftretenden Reaktionen mit „wechselseitiger Zersetzung“ der „doppelte Austausch“ stets in äquivalenten Mengen stattfindet, wird durch geeignete Klammern an den Umsetzungsgleichungen deutlich gemacht. Erstmals übergibt K. in sparsamer Weise „graphische Formeln“ dem Druck. Den Atomen werden Kreise oder gestreckte Gebilde zugeordnet, deren Länge der Atomigkeit entspricht. Dies war für K. um so leichter möglich, als er jeder Elementart nur einen Wert der Atomigkeit zugestand. Einfache Verbindungen werden

durch Aneinanderlagerung der Atomsymbole dargestellt, darunter auch Kohlenstoffverbindungen mit Kettenbildung, nachdem der Kohlenstoff als vierwertiges, kettenbildendes Element eingeführt ist. Der Gebrauch, den K. von der Kohlenstofftheorie in den nächsten Jahren machte – die Bezeichnung Strukturchemie geht auf A. Butlerow (1861) zurück –, bestand darin, den inneren Bau der Kohlenstoffradikale zu untersuchen und Rückschlüsse auf ihre Basizität zu ziehen. Als Formeln verwandte er in seinem Lehrbuch die erweiterten typischen Darstellungen mit ihrer großen Aussagekraft auch für strukturelle Zusammenhänge. Das „Lehrbuch der organischen Chemie“ (1. Band, 1861) fand starken Widerhall. Es trug wesentlich zur Überwindung der alten Standpunkte bei. In gleichem Sinne wirkte ein internationaler Chemikerkongreß in Karlsruhe (1860), der auf K.s Initiative stattfand. Dem Chaos, das in bezug auf die Grundbegriffe herrschte, sollte abgeholfen und Übereinstimmung in Symbolverwendung und Formelsprache angestrebt werden, Ziele, die für K. als Verfasser eines Lehrbuches besonderes Gewicht hatten. Kernstück war ein Vortrag von Cannizzaro, der die Bedeutung des Avogadro'schen Gesetzes ins Gedächtnis rief und sich für Gerhards Ausdrucksweise in Atomgewichten aussprach. Ein allmähliches Überschwenken zu den neuen Formen war die Folge. Man beschloß, die durchstrichenen Symbole bis zur völligen Einigung beizubehalten.

Erst nach einer längeren, vor allem durch den Tod der Frau bedingten Unterbrechung setzte K. seine Untersuchungsreihe über organische Säuren fort, unterstützt von seinem Mitarbeiter H. Wichelhaus und von seinem Assistenten Th. Swarts. Anlaß zu theoretischen Erwägungen gaben die ungesättigten aliphatischen Säuren. Wegen ihrer Neigung zu Anlagerungsreaktionen schrieb K. diesen – im Vergleich zu den gesättigten Fettkörpern – „wasserstoffärmeren“ Verbindungen „freie Affinitäten“, von ihm auch als „Lücken“ bezeichnet, zu. Obwohl die von ihm aufgestellten Formeln den Gedanken vom zweiwertigen Kohlenstoff greifbar nahelegten, ging er doch nicht von der Annahme ab, daß jeder Elementart eine und nur eine Atomigkeitsstufe zukäme.

Als besondere Klasse hatte K. in seinem Ordnungsschema die aromatischen Substanzen abgegrenzt. Sie umfaßten das Benzol und seine Verwandten, Verbindungen, die trotz höheren Kohlenstoffgehalts keine Tendenz zu Anlagerungen zeigten. 1865 legte K. eine geschlossene Theorie für diese Klasse vor. Seine Abhandlung „Sur la constitution des substances aromatiques“ veröffentlichte er als Mitglied der Société Chimique de Paris (seit 1859) in deren Bulletin (3, S. 98-110). Ergänzende Beiträge, unter anderem über die Substitutionsprodukte des Benzols, publizierte er – gewohnheitsmäßig – zunächst im „Bulletin de l'Académie Royale de Belgique“ (1865, [2], 19, S. 551-63), ehe er eine durch Experimentaluntersuchungen stark erweiterte Form in den „Annalen“ (137, S. 129-96) erscheinen ließ. Die Konstitution der Benzolkörper wird aus den gemeinsamen Merkmalen ihrer Vertreter erschlossen. Alle aromatischen Substanzen sind an Kohlenstoff verhältnismäßig reicher als die analogen Fettkörper. Auch die einfachsten aromatischen Verbindungen weisen mindestens 6 Kohlenstoffatome auf. Diese Sechsergruppe bleibt bei Umwandlungen erhalten, auch wenn tief eingreifende Reaktionen stattfinden. In den aromatischen Substanzen ist also offenbar ein aus 6

Kohlenstoffatomen bestehender fester Kern anzunehmen. Er enthält diese Atome in dichter Aneinanderlagerung als die Fettkörper; denn er vermag nur 6 einatomige Elemente oder Radikale zu binden (C_6H_6). K. entwirft das Modell einer Sechserkette, in der Einfach- und Doppelbindungen sich abwechseln ($C = C - C = C - C = C$). Ihr kommen 8 freie Verwandtschaftseinheiten zu. Nimmt man an, daß sich die beiden endständigen Kohlenstoffatome durch einen Ringschluß gegenseitig binden, so sind 2 Affinitäten abgesättigt, und es entsteht ein ringförmiger Kern mit 6 freien Verwandtschaftseinheiten. Werden sie durch Wasserstoff abgesättigt, so liegt das Benzol vor. Die Wasserstoffatome können durch andere einatomige Substituenten ersetzt werden, zum Beispiel durch Brom. Unter der durch Experimente nahegelegten Voraussetzung, daß die Orte, die die 6 Wasserstoffatome im Kern einnehmen, gleichwertig sind, ist ein einziges Monobrombenzol zu erwarten, dagegen mehrere Dibrombenzole und so weiter. Isomeren lassen sich danach voraussagen und werden an einem Sechseck mit gekennzeichneten Ecken erläutert. Zwei- und dreiatomige Elemente binden sich nur mit einer Affinität an den Benzolkern, führen also notwendig noch andere Elemente in einer „Seitenkette“ in die Verbindung ein (zum Beispiel C_6H_5-OH ; $C_6H_5-NH_2$). Werden Radikale von Fettkörpern als Substituenten verwendet (zum Beispiel $C_6H_5-CH_3$), so entstehen Seitenketten, an denen wiederum alle Reaktionen der Fettkörper vollzogen werden können. Unterschiede in der Bindungsweise sollen sich im Formelbild ausdrücken, zum Beispiel $C_6H_{12} \begin{matrix} -Cl \\ -CH_3 \end{matrix}$ (Kernsubstitution) gegenüber $C_6H_5-CH_2Cl$ (Metamorphose in der Seitenkette). Dies bedeutet eine Abkehr von der bisherigen Schreibweise, besonders von Gerhardt's „Dreiecksform der typischen Formeln“. Eine Tafel „graphischer Formeln“ ist beigegeben, stellt das Benzol jedoch nicht als Sechseck, sondern als gestreckte Kette dar. Die endständigen Affinitäten sind durch zwei Striche angedeutet, die man zum Ringschluß verbinden müßte. Die Atomigkeit der Elemente ist wieder durch die Länge ellipsenartiger Gebilde, Einfachbindungen sind durch kurze, Doppelbindungen durch längere Berührungsflächen symbolisiert. Ausgezeichnete Mitarbeiter unterstützten K. bei der experimentellen Prüfung seiner Theorie, unter ihnen C. Glaser, W. Körner und A. Ladenburg.

Zwischen der Konzeption und der Veröffentlichung der Theorie bestand auch diesmal ein Zeitraum von mehreren Jahren. Während seiner Jungesellenzeit, also vor September 1862, habe er, so erzählt K. später, abends an seinem Lehrbuch gearbeitet, „aber es ging nicht recht. ... Ich drehte den Stuhl nach dem Kamin und versank in Halbschlaf. Wieder gaukelten die Atome vor meinen Augen. Kleinere Gruppen hielten sich diesmal bescheiden im Hintergrund. Mein geistiges Auge, durch wiederholte Gesichte ähnlicher Art geschärft, unterschied jetzt größere Gebilde von mannigfacher Gestaltung. Lange Reihen, vielfach dichter zusammengefügt; Alles in Bewegung, schlangenartig sich windend und drehend. Und siehe, was war das? Eine der Schlangen erfaßte den eigenen Schwanz und höhnisch wirbelte das Gebilde vor meinen Augen. Wie durch einen Blitzstrahl erwachte ich; auch diesmal verbrachte ich den Rest der Nacht um die Konsequenzen der Hypothese auszuarbeiten.“ – Die Benzoltheorie, K.'s größter Erfolg, war von epochemachender Wirkung. Ein unübersehbar großes Gebiet natürlicher und künstlicher organischer Verbindungen wurde der planvollen experimentellen Forschung erschlossen. Über Konstitutionen, über Isomeren wurde Klarheit gewonnen, der Erfolg von Synthesen ließ sich jetzt

leichter abschätzen. Auch die chemische Technik, vor allem die Teerfarben- und Arzneimittelindustrie, verdankte nicht zuletzt der Benzoltheorie ihren kometenhaften Aufschwung.

Indessen verdichtete sich seit 1865 die Aussicht auf den zunächst A. W. Hofmann angetragenen Lehrstuhl an der Universität Bonn. Nach dessen Verzicht erging 1887 der Ruf an K., der freudig zusagte. Die Zeit bis zu der mit Ungeduld erwarteten Entscheidung kam wichtigen experimentellen und theoretischen Arbeiten zugute. Die Konstitution des Diazobenzols und seine Umwandlung in das als Anilingelb bekannte Amidoazobenzol durch das „als Ferment“ wirkende Anilin wurde aufgeklärt. K. gelang die direkte Gewinnung des Oxyazobenzols aus Phenol und einem Salz des Diazobenzols. Arbeiten über Bildung und Konstitution der Sulfosäuren brachten das auch für die Technik, zumal für die Gewinnung der Azofarbstoffe, wichtige Ergebnis, auf dem Wege über die Kalischmelze hydroxylierte aromatische Substanzen zu gewinnen. Der 2. Band des Lehrbuches und ein Teil des 3. Bandes wurden noch in Gent zum Druck gebracht. Nach den noch ausstehenden aliphatischen Verbindungen, den Kohlehydraten und den Terpenen und Camphern folgten die aromatischen Substanzen. Die Publikationen seit 1865 leisteten wichtige Dienste als Grundlage. Neben graphischen Formeln in der dort beschriebenen Art taucht erstmalig bei K. ein Sechsring mit Doppelbindungen auf. Doch bleibt die Verwendung von graphischen Darstellungen sparsam. Die Schreibweise der Formeln wird den Erfordernissen der Benzolabkömmlinge angepaßt. Die Fülle des Materials zeugt von den Auswirkungen der Benzoltheorie, die die Chemiker allerorten in Forschung und Technik beschäftigte.

Die Zurückhaltung im Gebrauch graphischer Ausdrucksmittel mag mit den Beschränkungen zusammenhängen, die K. in ihnen sah. Hatte er im 1. Bande seines Lehrbuches zu wiederholten Malen gemahnt, die rationellen Formeln nur als Umsetzungsformeln, aber nicht als Konstitutionsformeln aufzufassen, so hatte er mit noch mehr Nachdruck betont, „daß man die Stellung der Atome im Raum, selbst wenn man sie erforscht hätte, nicht auf der Ebene des Papiers durch nebeneinandergesetzte Buchstaben darstellen kann; daß man dazu mindestens einer perspektivischen Zeichnung oder eines Modells bedarf“. In der Vorlesung dienten ihm zur Veranschaulichung Tetraedermodelle, gefertigt aus unterschiedlich gefärbten Kugeln, je nach Atomigkeit mit Bohrungen versehen und durch Messingverbindungen zusammensetzbar. Diese Modelle mögen van't Hoff, der 1872/73 in K.s Institut in Bonn arbeitete, zu seiner Theorie vom asymmetrischen Kohlenstoffatom angeregt haben. In der Folgezeit wurden von anderen Autoren, besonders in England, räumliche Modelle und ebene Strukturformeln entwickelt, die in der Regel nicht ohne Einwände blieben.

Bei der Übersiedlung nach Bonn im Oktober 1867 verblieb K. nur die Inneneinrichtung des nach A. W. Hofmanns Plänen erstellten, großzügig angelegten Institutes, das 1868 eröffnet wurde. Bonn wurde nun Anziehungspunkt für in- und ausländische Studenten. Den Unterrichtsassistenten war große Selbständigkeit auferlegt, da K. besonders in späteren Jahren wenig Zeit für den Praktikumsbetrieb aufbrachte. Für Forschungsarbeiten standen außer Assistenten etliche fortgeschrittene

Chemiker, darunter zahlreiche Ausländer, zur Verfügung, die sich unter K. weiterbilden wollten. →Th. Zincke, Schüler von →Wöhler und →Fittig, |→Th.E. Thorpe, →A. P. N. Franchimont, →H. Schrötter, →A. Fleischer, J. dos Santos e Silva, →R. L. Claisen, →J. Bredt, →H. Klinger. Als wichtigste Persönlichkeit kam 1870 →O. Wallach für fast zwei Jahrzehnte an das Bonner Institut. 1875 trat →R. Anschütz in das Institut ein.

Die Bonner Jahre waren vorwiegend der Prüfung und Bestätigung der Benzoltheorie gewidmet. Synthesen neuer Körper, Aufklärung von Konstitutionen und Reaktionsabläufen, kritische Stellungnahmen und Nachprüfungen der Ergebnisse von Fachkollegen (unter anderem Arbeiten über aromatische Säuren, Isatin, Aldehydkondensationen, Triphenylmethan, Anthrachinon, die Camphergruppe) waren jedoch nie Selbstzweck. Noch weniger lag ein Interesse an technischer Ausnutzung vor. „Sobald eine Reaktion theoretisch nichts Neues mehr zu bieten schien, verlor sie für K. jeden Reiz.“ (Anschütz). Lebenslang beschäftigte K. die Frage nach der Konstitution des Benzolkerns. Die 1866 gelungene Synthese des Benzols aus Acetylen (Berthelot) und die von Baeyer bearbeitete Kondensation des Acetons zu Mesitylen, dem Trimethylbenzol, sprachen für den Ring mit 3 Doppelbindungen, für eine Formel, der K. trotz eigener Zweifel unter mehreren Möglichkeiten aus chemischen Gründen immer wieder den Vorrang gab. Andererseits schien es bedenklich, im festen Benzolkern Doppelbindungen, die in Fettkörpern immer eine schwache Stelle bedeuteten, anzunehmen. Auch resultierte aus K.s Formelbild ein Unterschied zwischen der 1.2-Substitution und der 1.6-Substitution, der sich experimentell nicht ergab. Unter etlichen anderweitigen Vorschlägen, die zum Teil leicht widerlegbar waren, fanden die „Diagonalformel“ von A. Claus und die „Prismenformel“, das heißt ein dreiseitiges Prisma, von Ladenburg viele Anhänger. K.s Plan, durch Kondensation gesättigter und ungesättigter Aldehyde einen seinem Modell entsprechenden Benzolkern schrittweise aufzubauen (Annalen 162, 1872, S. 77-123, 125-50, 309-90) führte zwar nicht zum Ziel. Doch konnte auch keiner der anderen Vorschläge auf die Dauer mehr Wahrscheinlichkeit für sich in Anspruch nehmen, und Betrachtungen anderer Autoren, die mit seiner Benzolformel unvereinbar erschienen, konnte K. durch den Nachweis von Fehlern und Trugschlüssen widerlegen. Um das Fehlen zweier unterschiedlicher Substitutionsprodukte in 1.2- und 1.6-Stellung zu erklären, erwog K. eine intramolekulare Bewegung der Atome um eine Gleichgewichtslage, und zwar sollten die Atome „in einer im Wesentlichen geradlinigen Bewegung an einander (anprallen), um sich, als elastische Körper, wieder von einander zu entfernen“. Er glaubt, auf diese Weise der Wertigkeit der Atome eine mechanische Deutung geben zu können, indem er die Verwandtschaftseinheiten in Zusammenhang bringt mit der „Anzahl der Stöße, welche ein Atom in der Zeiteinheit durch andere Atome erfährt“. Auf das Benzolmodell übertragen, bedeutet dies: Dem vierwertigen Kohlenstoffatom kommen in der Zeiteinheit viermal soviel Stöße zu wie dem einwertigen Wasserstoffatom. Nimmt man an, daß das mit 1 bezifferte Kohlenstoffatom im Benzolring in der ersten Zeiteinheit die Stöße 2, 6, h, 2, in der nächsten Zeiteinheit die Stöße 6, 2, h, 6 ausführt (h bedeutet Zusammenstoß mit dem zugehörigen Wasserstoffatom), so ist es abwechselnd mit dem einen, dann mit dem anderen der benachbarten Kohlenstoffatome in doppelter Bindung.

Die Formel drückt natürlich nur eine Phase dieses Vorganges aus. Diese später als „Oszillationstheorie“ bezeichnete Vorstellung traf auf Widerspruch, weil sie nicht auf alle organischen Körper übertragbar war. Dennoch behielt K.s Benzolformel die Oberhand und zog in die Lehrbücher ein.

Wissenschaftliche Anregungen bot der Bonner Kollegenkreis. Den Physiker R. Clausius und den Physiologen E. Pflüger gewann K. zu Freunden. Er wurde einflußreiches Mitglied der Bonner chemischen Gesellschaft, die er als besondere Sektion an die Niederrheinische Gesellschaft für Natur- und Heilkunde anschloß. Nach Liebigs Tod (1873) übernahm K. gleichzeitig mit A. W. Hofmann die Mitredaktion der jetzt „Liebigs Annalen der Chemie“ genannten Zeitschrift, deren Redaktionsgeschäfte seit 1871 E. Erlenmeyer, von 1879 an J. Volhard besorgte. Indessen wuchsen die Belastungen. Ein Erweiterungsbau des Institutes wurde 1873 notwendig. Wöchentlich 8 Stunden Vorlesung, der Unterricht in überfüllten Praktikumssälen, Mitarbeit an Fehlings „Handbuch der Chemie“, Weiterarbeit am Lehrbuch, Verwaltungsgeschäfte, zeitweise als Mitglied des Gemeinderats, ließen ihn mit Publikationen in Verzug kommen. Seit 1874 machte sich eine Überbeanspruchung bemerkbar. Eine Berufung nach München als Liebigs Nachfolger (1875) lehnte K. ab. Eine 2. Ehe (1876) brachte keine Erleichterung. Häusliches Ungemach, Sorgen um Familie und Kindererziehung beeinflussten die wissenschaftliche Tätigkeit auf die Dauer ungünstig. Als Nachwirkung einer Erkrankung an Masern blieb lebenslang eine Anfälligkeit für Katarrhe|zurück. Mit zunehmendem Alter stellte sich Schwerhörigkeit ein.

Das Amt des Rektors (1877/78, mit dem 60jährigen Stiftungsfest der Universität Bonn) gab K. Gelegenheit, bekenntnishaft zu dem Thema „Die wissenschaftlichen Ziele und Leistungen der Chemie“ Stellung zu nehmen. Diese Antrittsrede (18.10.77) mündet in einer Rechtfertigung der spekulativen Forschung. Von allen Vorstellungen über das Wesen der Materie, das sich jedem direkten Studium entzieht, hat nur die atomistische Hypothese zu einer verständlichen Erklärung der Tatsachen geführt. Davon zeugen zahlreiche Errungenschaften der neueren Zeit, unter ihnen die Theorien vom „chemischen Wert der Atome“ und von der „Verkettung der Atome“ im Sinne der Strukturchemie, die Vorstellung über die räumliche Lagerung der Atome, die auf Molekularattraktion rückführbaren Erscheinungen, die periodisch wiederkehrenden Eigenschaften der Elemente als Funktion ihrer Atomgewichte. Es ist unbestritten, daß der menschliche Geist in der positiven Erkenntnis des Tatsächlichen keine volle Befriedigung findet. Höheres Ziel der Naturwissenschaften ist es, das Wesen der Materie und die ursächlichen Zusammenhänge aller Erscheinungen zu erkennen.

Es traf K. nicht schwer, daß diese Rede die Kritik Kolbes hervorrief, der in Briefen an Kollegen und öffentlich in dem von ihm redigierten Journal für praktische Chemie wegen „grober Styl- und Gedankenfehler“ K. die Gymnasialbildung abzusprechen suchte. Anwürfe Kolbes, in denen in polemischer Form die Typenlehre, die Strukturchemie und erst recht die Stereochemie (van't Hoff) als „leeres Formelspiel“, „leichtfertige Hypothesen“, „unwissenschaftliche Spielereien“, „Verirrungen des menschlichen Geistes“ und so weiter bezeichnet worden waren, hatte K. mehrmals mit Stillschweigen

übergangen. 1881 aber entschloß er sich zu Entgegnungen. Kolbe hatte unter dem Druck der Entwicklung selbst in die Bahnen der Typenlehre eingelenkt, indem er die Kohlensäure zum Stammkörper aller organischen Verbindungen erklärt und um 1870 in seiner Formelsprache die Gerhardt'schen Atomgewichte anstelle der alten Äquivalentgewichte eingeführt hatte. In seinen letzten Lebensjahren erhob er in einer Aufsatzfolge „Meine Beteiligung an der Entwicklung der theoretischen Chemie“ Prioritätsansprüche auf die Vierwertigkeit des Kohlenstoffs. K. war Prioritätsstreitigkeiten nach Möglichkeit aus dem Wege gegangen. Er wolle grundsätzlich für theoretische Ansichten keine Prioritäten reklamieren, solange es sich irgend vermeiden lasse, schrieb er 1859 an Wurtz. Nach Kolbes letzter Herausforderung verfaßte er zwei historische Skizzen, „Zur Geschichte der Benzoltheorie“ und „Zur Geschichte der Valenztheorie“. Als bester Sachkenner begegnet er mit Scharfsinn den Ansprüchen Kolbes und daran anschließend Ansprüchen Franklands auf die Entwicklung der Valenztheorie. Er weist nach, daß seine beiden Rivalen von Begriffsbildungen und -unterscheidungen, die für die Valenztheorie unerlässlich waren, zur maßgeblichen Zeit noch weit entfernt waren. Überdies spricht auch eine genaue Verfolgung der Publikationsdaten gegen Kolbe. Zum Bedauern von K.s Freunden kamen die druckfertigen Aufsätze nicht zur Veröffentlichung. Auf dringenden Rat von Volhard, dem damaligen Redakteur der Annalen, der neue Streitigkeiten mit Kolbe fürchtete, zog K. die Abhandlungen zurück. Anschütz, der diese Entscheidung für verfehlt hielt, weil das Schweigen K.s Schüler und Anhänger bedrücken und enttäuschen mußte, hat beide Schriften aus dem Nachlaß in voller Länge in seiner K.-Biographie (I, S. 540-69) zum Druck gebracht. 1965 sind beide Aufsätze in einer Monographie erschienen.

K.s Lehrbuch der organischen Chemie blieb zum Bedauern der Fachwelt unvollendet. Die Fortsetzung des 3. Bandes erschien 1882. Anschütz, G. Schultz, K.s Assistent 1876/77, und W. La Costa waren maßgebliche Mitautoren. Eine Weiterführung kam zum Erliegen, da Schultz die Mitarbeit einstellte und La Costa starb. Eine Um- und Neugestaltung des gesamten Werkes, dessen bisherige Form wegen des ständig anwachsenden Stoffes nicht aufrechtzuerhalten war, lehnte K. ab.

Höhepunkt von Ehrungen für K. war das 1890 von der Deutschen Chemischen Gesellschaft veranstaltete „Benzolfest“ in Berlin. Am Vortage der Feier lieferte K. auf einer regulären Sitzung der Gesellschaft einen einstündigen Bericht über die Konstitution des Pyridins. Der Vortrag wurde von K. nicht mehr zu Papier gebracht, sondern von Anschütz postum veröffentlicht. Auf dem Festakt im Berliner Rathaus würdigte K.s Schüler A. Baeyer die Verdienste seines Lehrers. Den Gedanken, daß die Atome des Kohlenstoffs Ringe bilden können, habe die Erfahrung nicht nur bestätigt, sondern auch gezeigt, daß diese ringförmigen Gebilde in der organischen Natur die größte Bedeutung haben. In dem Gebäude der von K. geschaffenen Strukturchemie bilde die Benzolformel den Schlußstein. Somit feierten die versammelten Scharen zu Ehren des kühnen Architekten das „Richtfest der Strukturchemie“. In der anschließenden autobiographischen Rede sucht K. die Ovationen aufs rechte Maß zurückzudämmen. Die Benzoltheorie sei nur eine Konsequenz der Valenz- und Strukturtheorie. Gewisse Ideen lägen zu gewissen Zeiten in der Luft. Wenn der eine sie nicht auspreche, tue es kurz nachher ein anderer. Ein Bericht von

seinen „Träumereien“ legt Art und Zeitpunkt fest, die für seine Konzeptionen maßgeblich waren. Ursprünglich Schüler von →Liebig, sei er zum Schüler von →Dumas, →Gerhardt und →Williamson geworden. Dieser Umstand und ein unwiderstehliches Bedürfnis nach Anschaulichkeit, das er mit dem früheren Architekturstudium in Verbindung bringt, seien offenbar die Ursache, daß die umherschwirrenden Ideen gerade in seinem Kopfe geeigneten Boden fanden.

In den 80er und 90er Jahren wurde K.s Zeit in wachsendem Maße durch Gutachten und Schiedssprüche in Anspruch genommen. Land- und Forstwirtschaft beschwerten sich über Schädigungen durch chemische Betriebe. Vor allem aber gaben die Erfindungen der organisch-chemischen Industrie Anlaß zu Patentstreitigkeiten. Fand K. auch mehrfach sachkundige Unterstützung, besonders durch den ebenfalls zugezogenen H. Caro von der Badischen Anilin- und Sodafabrik, so gaben doch seine scharfsinnigen und klaren Stellungnahmen häufig den Ausschlag.

Als Jahrzehnte nach K.s Tode der Sechsring und der ebene Bau des Benzolmoleküls sich bestätigten und die Stabilität des Kerns quantenmechanisch begründet wurde, bewunderte die Nachwelt K.s Weitblick, sein konstruktives Denken, sein sicheres Abwägen im Wechselspiel zwischen Theorie und Erfahrung. Im Andenken seiner Schüler blieb er nach A. von Baeyers Worten der hinreißende Lehrer, der seine ganze Gefolgschaft durch seine lebhafteste Persönlichkeit und seinen funkelnden Geist beherrschte und ein einheitliches System der organischen Chemie begründet und mit der Begeisterung eines Propheten der Welt verkündet hat.]

Auszeichnungen

Dr. med. h. c. (Bonn 1868);

Copley-Medaille (1885), Huygens-Medaille (1889);

preuß. Kronen-Orden II. Kl. u. bayer. Maximilians-Orden f. Wiss. u. Kunst (1890),
Orden Pour le mérite f. Wiss. u. Künste (1893);

Mitgl. zahlr. in- u. ausländ. Ak. u. gel. Ges.;

Präs. d. Dt. Chem. Ges. 1878/86/91.

Werke

Weitere W in: R. Anschütz II, s. L;

Cassierte Kap. aus d. Abh.: Über d. Carboxytartronsäure u. d. Constitution d. Benzols, 1965.

Literatur

ADB 51 (L);

- R. Anschütz, A. K., I: *Leben u. Wirken (P, auch f. Fam., Lehrer, Schüler usw.)*, II: *Abhh., Berr., Kritiken, Artikel, Reden*, 1929;
- R. Winderlich, in: *Das Buch d. gr. Chemiker*, hrsg. v. G. Bugge, 1929, II, S. 200-16 (*P, L* auf S. 507 f.);
- A. v. Weinberg, A. K. u. s. *Bedeutung f. d. chem. Industrie*, in: *Zs. f. angew. Chemie* 43, 1930, S. 167-70;
- H. Hartmann, *Die Benzolformel*, ebd. 77, 1965, S. 750-52;
- O. J. Walker, A. K. and the benzene problem, in: *Ann. of science* 4, 1939, S. 34-46;
- W. Schneider, *Vor 100 J.: K. u. d. organ. Strukturchemie*, in: *Die pharmazeut. Industrie* 20, 1958, S. 379-83 (*P*);
- J. Gillis, *Honderd jaar geleden werd A. K. prof. te Gent (1858-67)*, in: *De Brug NS* 2, 1958, S. 65-73;
- ders., *K.s life at Ghent (1858-67)*, in: *Journal of chemical education* 38, 1961, S. 118-22 (*P*);
- ders., *Leben u. Wirken v. K. in Gent*, in: *K. u. s. Benzolformel*, 1966, S. 33-54;
- ders., in: *Dict. of Scientific Biogr.* VII, 1973;
- E. N. Hiebert, *The experimental basis of K.s valence theory*, in: *Journal of chemical education* 36, 1959, S. 320-27;
- D. P. Craig, *The changing concept of aromatic character*, in: *Education in Chemistry* 1, 1964, S. 136-43;
- W. Ruske, A. K. u. d. *Entwicklung d. chem. Strukturtheorie*, in: *Die Naturwiss.* 52, 1965, S. 485-89 (*P*);
- R. Lepsius, *100 J. Benzoltheorie*, in: *Chemiker-Ztg. Chem. Apparatur* 89, 1965, S. 581-86 (*P*);
- K. Saftien, *K. als Gutachter*, in: *Die BASF* 15, 1965, S. 190-98 (*P*);
- R. Wizinger-Aust, A. K., *Leben u. Werk*, in: *K. u. s. Benzolformel*, 1966, S. 7-32;
- B. Helferich, *Zur Gesch. d. Chemie in Bonn, Ära K. (1867-96)*, in: *Bonner Gel., Btrr. z. Gesch. d. Wiss. in Bonn, Math. u. Naturwiss.*, 1970, S. 122-30;
- N. W. Fisher, *K. and organic classification*, in: *Ambix* 21, 1974, S. 29-52;
- O. B. Ramsay, *Molecules in three dimensions*, in: *Chemistry* 1974, I, 47, Nr. 1, S. 6-9, II, 47, Nr. 2, S. 6-11;

BJ I;

Pogg. I, III, IV, VI, VII a Suppl. |

Nachlass

Nachlaß: Techn. Univ. Darmstadt, Inst. f. organ. Chemie, „Kekulé-Zimmer“ (u. a. umfangr. Briefslg., Photographien, Marmorbüste v. A. Küppers); einige Briefe, vorwiegend Patentfragen betr., im Archiv d. Dt. Mus. München. - K.s *wiss. Privatbibl.* wurde v. d. Elberfelder Farbenfabriken vorm. Friedr. Bayer angekauft u. bildet d. Grundstode der „Kekulé-Bibl.“ in Leverkusen, heute e. d. vollständigsten chem. Büchereien.

Portraits

Gem. v. H. Angeli, 1890, Abb. in: Die Gr. Deutschen im Bild, 1937;

Denkmal v. H. Everding, 1903 (Bonn, vor d. Chem. Inst. d. Univ.)

Autor

Grete Ronge

Empfohlene Zitierweise

, „Kekulé, August“, in: Neue Deutsche Biographie 11 (1977), S. 414-424 [Onlinefassung]; URL: <http://www.deutsche-biographie.de/.html>

ADB-Artikel

Kekulé Zu S. 98.: Friedrich *August K.*, der Schöpfer der Lehre von der Valenz der Atome und der Strukturchemie, wurde am 7. September 1829 in Darmstadt als Sohn des Oberkriegsrathes Karl Kekulé geboren. Im Herbst 1847 verließ K. als einer der besten seines Jahrganges das Ludwig Georgs-Gymnasium seiner Vaterstadt mit dem Reifezeugniß, um sich in Gießen unter Ritgen's Leitung dem Studium der Architektur zuzuwenden, wozu ihn seine Anlagen zum Zeichnen und zur Mathematik besonders zu befähigen schienen. Aber bald erkannte er seinen Beruf zur Chemie, für die ihn die Vorträge Justus v. Liebig's gewannen. Nicht ohne häusliche Kämpfe setzte es K. durch, seiner Neigung folgen und das Studium der Architektur mit dem der Chemie vertauschen zu dürfen. Um ihm Zeit zur ruhigen Ueberlegung zu geben, hielt ihn seine Familie — sein Vater war am 28. August 1847 gestorben — den Winter 1848/49 in Darmstadt zurück. Er verwendete das Semester, um auf der höheren Gewerbeschule in Darmstadt, aus der sich später die technische Hochschule entwickelt hat, Vorträge über Chemie, Physik, Mechanik und Mathematik zu hören. Nebenbei bildete er sich bei einem Drechslermeister in der Kunst des Holzdrehens aus. Als sich zeigte, das Kekulé's Entschluß, Chemie zu studiren unabänderlich sei, durfte er im Sommersemester 1849 wieder die Universität Gießen beziehen. Mit leidenschaftlichem Eifer gab er sich unter Leitung von Heinrich Will und Theodor Fleitmann den experimentellen chemischen Arbeiten hin. An letzterem, dem Begründer der deutschen Nickelindustrie, gewann K. einen treuen Freund fürs Leben. Rasch vollendete K. seine analytisch-chemische Ausbildung und unternahm auf H. Will's Anregung seine erste selbständige chemische Arbeit: „Ueber die Amyloxydschwefelsäure“, die im October 1850 in J. v. Liebig's Annalen veröffentlicht wurde und auf die hin er zwei Jahre später in Gießen am 15. Juli 1852 den philosophischen Doctorgrad erwarb. Nach Abschluß dieser Versuche ließ ihn J. v. Liebig eine kurze Zeit an seinen pflanzenphysiologisch-chemischen Arbeiten theilnehmen. Im Sommer des unruhigen Jahres 1850 diente K. ein Vierteljahr als dem zweiten Aufgebot angehöriger Rekrut im ersten großherzoglich hessischen Infanterieregiment, dem jetzigen Regiment Nr. 115.

Noch hatte K. seine Studien nicht abgeschlossen, da gewährte ihm sein in London als Großkaufmann zu Reichthum gelangter Stiefbruder Karl Kekulé die Mittel eine Zeitlang ins Ausland zu gehen. K. entschied sich für Paris, ein Entschluß, der für seine wissenschaftliche Entwicklung von der größten Bedeutung werden sollte. Im Anfang Mai 1851 reiste er ab und blieb in Paris bis Anfang April 1852. Unterwegs fiel ihm im Schaufenster einer Buchhandlung in Frankfurt das Buch des französischen Gelehrten Charles Gerhardt, des Erfinders der Typentheorie auf: „Introduction à l'étude de chimie par le système unitaire“. Er kaufte es und machte sich schon auf der Reise den Inhalt zu eigen. Der Pariser Aufenthalt brachte dem Liebig'schen Schüler, der sich durch Jugendschönheit, ein natürliches, sicheres Benehmen und eine lebendige Unterhaltungsgabe auszeichnete, die Freundschaft von Charles Gerhardt, aus dessen Typentheorie sich später Kekulé's Valenztheorie entwickelte. K. hörte in Paris Vorlesungen bei Dumas, Cahours, Wurtz, Ch. Gerhardt, Payen, Magendie,

Regnault und Pouillet. Auch erwarb er sich eine große Fertigkeit im Gebrauche der französischen Sprache, die ihm später zu gute kommen sollte.

Nach Deutschland zurückgekehrt, wurde K. durch Liebig's Vermittlung Privatassistent bei Adolf v. Planta auf Schloß Reichenau bei Chur. Zur Annahme dieser Stellung, die er einer Assistentur bei Liebig vorzog und in der er anderthalb Jahre verblieb, mag K. vor allem der Gedanke bewogen haben, daß er einer Zeit der ruhigen Sammlung bedürfe, um die durch den Pariser Aufenthalt in ihm geweckten Ideen zu verarbeiten und auszugestalten. Gemeinschaftlich mit v. Planta untersuchte er die Engadiner Mineralquellen und die Pflanzenalkaloide Coniin und Nikotin. Unterstützt durch seine spielend leichte Auffassungsgabe und ein Gedächtniß von unfehlbarer Treue, eignete sich K. in dieser Zeit die Gesamtsumme des damaligen Wissens über die Chemie der Kohlenstoffverbindungen an. Zugleich schwelgte sein für landschaftliche Schönheit so empfänglicher Sinn im Anblick der großartigen Schweizer Hochgebirgswelt.

Im Herbst 1853 ging dann K., als Privatassistent, wiederum durch Liebig's Vermittlung, zu John Stenhouse, Professor der Chemie am Bartholomaeus-Hospital in London. Freilich bot K. die Richtung der Arbeiten seines neuen Chefs, der sich damals hauptsächlich mit der Untersuchung neuer Drogen beschäftigte, keine tiefere Anregung. In London schloß sich K. besonders an Williamson an; er lernte Odling kennen und stand in anregendstem, freundschaftlichem Verkehr mit Reinhold Hoffmann, Williamson's Assistenten und Hugo Müller, einem Schüler Wöhler's und Assistent bei Warren de la Rue. In der kargen freien Zeit, die ihm seine Stellung ließ, führte K. seine erste völlig selbständige Experimentaluntersuchung über die Thiacetsäure aus, deren Ergebnisse er in der Sitzung vom 5. April 1854 der Royal Society vorlegte, sie enthält die Grundzüge seiner Theorie von der Werthigkeit der Atome oder der Valenztheorie.

Es ist hier nicht der Ort, die Verdienste von Kekulé's Zeitgenossen Frankland, Kolbe, Charles Gerhardt, Wurtz, Williamson und Odling um die Ausbildung des Begriffes der Werthigkeit der Elemente in ihren Beziehungen zu Kekulé's Valenztheorie darzulegen. Nur soviel sei hervorgehoben, daß die Valenztheorie in innigstem Zusammenhang mit Gerhardt's Typentheorie steht.

Während seines Londoner Aufenthaltes faßte K. den Entschluß sich dem akademischen Lehrberuf zuzuwenden; seine Lehrjahre waren vorüber. Er habilitirte sich im Winter 1856 in Heidelberg für organische Chemie. Dort übte damals Robert Bunsen eine große Anziehungskraft besonders auch auf ausländische Studenten aus, neben ihm wirkte als Professor der Physik Kirchhoff. In Bunsen's überfülltem Laboratorium war kein Raum für den jungen Privatdocenten, dessen Hauptarbeitsfeld die organische Chemie war, von der sich Bunsen längst abgewendet hatte. Mit den beschränktesten Mitteln richtete sich K. im Hause des Mehlhändlers Goos in Heidelberg ein Privatlaboratorium und ein Auditorium ein. Reinhold Hoffmann beendete als erster Praktikant Kekulé's dort seine Arbeit über die Monochloressigsäure. Auch Adolf v. Baeyer schloß sich damals an K. an und führte in Kekulé's Laboratorium seine Arbeit über organische Arsenverbindungen aus. Kündig entdeckte unter Kekulé's

Leitung die Bildung von Acetamid aus Ammoniumacetat. „Obwohl Kekulé bei Beginn seiner Lehrthätigkeit erst im Alter von 27 Jahren stand, wuchs er erstaunlich rasch zu einer Größe ersten Ranges heran.“ Der Kreis, in den K. eintrat, umfaßte eine Reihe Bunsen'scher Schüler, die später Hochschullehrer wurden. Es seien Carius, Pebal, Landolt, Beilstein, Lothar Meyer und H. E. Roscoe genannt. Auch Emil Erlenmeyer ließ sich zu jener Zeit in Heidelberg nieder und richtete sich in demselben Haus wie K. ein Privatlaboratorium ein.

In Heidelberg veröffentlichte K. seine berühmte Abhandlung über das Knallquecksilber, in der er den Kohlenstoff vor Archibald Couper, als ein vierwerthiges Element erkennt, d. h. als Element, von dem ein Atom die Fähigkeit hat, sich mit vier Atomen eines anderen einwerthigen Elementes, z. B. vier Wasserstoffatomen zu verbinden. Es folgen seine Abhandlungen: „Ueber die sog. gepaarten Verbindungen und die Theorie der mehratomigen Radicale“, „Ueber die Constitution und die Metamorphosen der chemischen Verbindungen“ und „Ueber die chemische Natur des Kohlenstoffs“. In der letzten dieser drei Abhandlungen findet sich die Stelle, die August K. den Namen des Philosophen in der Chemie verschaffte. Sie sei wörtlich angeführt als ein Denkmal Kekulé'scher Geistesarbeit aere perennius:

„Ich halte es für nöthig und bei dem jetzigen Stande der chemischen Kenntnisse für alle Fälle für möglich, bei der Erklärung der Eigenschaften der chemischen Verbindungen zurückzugehen bis auf die Elemente selbst, die die chemischen Verbindungen zusammensetzen. Ich halte es nicht mehr für die Hauptaufgabe der Zeit, Atomgruppen nachzuweisen, die gewisser Eigenschaften wegen als Radicale betrachtet werden können, und so die Verbindungen einigen Typen zuzuzählen, die dabei kaum eine andere Bedeutung als die einer Musterformel haben. Ich glaube vielmehr, daß man die Betrachtung auf die Constitution der Radicale selbst ausdehnen, die Beziehungen der Radicale unter einander ermitteln und aus der Natur der Elemente ebensowohl die Natur der Radicale, wie die der Verbindungen herleiten soll. Die früher von mir zusammengestellten Betrachtungen über die Natur der Elemente, über die Basicität“ — oder wie wir heute sagen der Valenz — „der Atome bilden dazu den Ausgangspunkt.“

K. entwickelte die Verkettungstheorie der Atome mehrwerthiger Elemente. Er erklärte die unermeßliche Mannichfaltigkeit der Kohlenstoffverbindungen durch die Fähigkeit der Kohlenstoffatome, sich mit einander unter Verwendung eines Theiles ihrer Valenzen zu Kohlenstoffketten zu verbinden. Die nicht auf Kohlenstoffbindung verwendeten Valenzen der Kohlenstoffatome werden verbraucht, um die Atome anderer Elemente oder andere Atomgruppen festzuhalten.

Der Weiterentwicklung der Dalton'schen Atomtheorie war damit in glänzender Weise erreicht.

Besonders die zuletzt erwähnte Abhandlung Kekulé's erregte in Fachkreisen großes Aufsehen und so wurde er schon im J. 1858 auf Rath von Jean Servais Stas von der belgischen Regierung als ordentlicher Professor der Chemie nach Gent berufen. Dank seinem früheren Aufenthalte in Paris war K. in der Lage

sofort seine Vorlesungen in französischer Sprache und zwar mit glänzendem Erfolg zu halten. In dem von ihm neu eingerichteten, bald nicht genug Raum bietenden Laboratorium versammelt sich um den jungen Meister ein Kreis begeisterter Schüler. Aus Heidelberg waren ihm Kündig und Adolf v. Baeyer gefolgt. Zu Kekulé's Genter Schülern zählen Hübner, Ladenburg, Linnemann, Foster, Fitz, Radziszewski, zu seinen damaligen Assistenten Swarts, Karl Glaser und Wilhelm Körner. Innige Freundschaft verband K. mit Stas; auch dem damaligen belgischen Minister Charles Rogier trat er näher. Kekulé's sicheres weltmännisches Auftreten, sein schlagfertiger Witz, seine umfassende allgemeine und naturwissenschaftliche Bildung öffneten ihm die besten Genter Gesellschaftskreise. In diesen lernte er die anmuthige Stephanie Drory kennen, die Tochter des Inspecteur général der Imperial Gas Association Georg William Drory's, eines geborenen Engländers, die er 1862 heimführte. Leider verlor K. seine junge Gattin nur zu bald, sie starb wenige Tage nach der frühzeitigen Geburt seines Sohnes Stephan, dem sie am 1. Mai 1863 das Leben schenkte. Nur schwer hat K. den frühen Verlust seiner Gattin überwunden.

Von den Experimentalarbeiten die K. in Gent ausführte, seien folgende hervorgehoben: die Umwandlung der Bernsteinsäure durch Mono- und Dibrombernsteinsäure in Aepfelsäure beziehungsweise inactive Weinsäure und Traubensäure; ferner die Verfolgung der Additionsreactionen der Malein- und Fumarsäure, Citra-, Mesa- und Itaconsäure; die Elektrolyse der Bernsteinsäure; Malein- und Fumarsäure.

Schon in Heidelberg Ende der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts hatte K., von seinen neuen theoretischen Anschauungen ausgehend, mit überlegener Meisterschaft die organische Chemie oder die Chemie der Kohlenstoffverbindungen in einem ausführlichen, bei Enke in Stuttgart verlegten Lehrbuch zu behandeln begonnen, dessen erster Band 1861 vollendet vorlag. Noch zwei Bände wurden später herausgegeben, aber das groß angelegte Werk ist unvollendet geblieben, denn einmal ging die Entwicklung der organischen Chemie zu rasch vorwärts, um den gewaltigen Stoff mit der Ausführlichkeit zu behandeln, mit der es in den ersten Theilen geschehen war, und dann genügte auch der ursprüngliche Rahmen nicht mehr für die zahllosen neuen Erscheinungsformen der kohlenstoffhaltigen Ringsysteme. Zu einer Aenderung der ganzen Art der Behandlung und des Systems aber konnte sich K. in späteren Lebensjahren nicht mehr entschließen. In den Fachkreisen und weit darüber hinaus auch bei den Gelehrten, die der organischen Chemie nur als Hilfswissenschaft bedurften, erregte Kekulé's Lehrbuch ungetheilte Anerkennung. Klar wie noch nie zuvor waren in der Einleitung die Grenzen von Thatsachen und Annahmen in der Chemie auseinandergesetzt. Der Bau der Moleküle der Kohlenstoffverbindungen wurde aus der Valenz der sie zusammensetzenden Atome und ihrem Gesamtverhalten abgeleitet, wie es die Umwandlungs-, Abbau- und Aufbaureactionen erkennen ließen.

1865 beschenkte K. die Wissenschaft mit der Benzoltheorie oder der Theorie der aromatischen Substanzen, die am meisten zum Ruhme ihres Schöpfers beitrug. K. führte die aromatischen Substanzen, die sich durch ihr eigenthümliches Verhalten auszeichnen, auf das im Steinkohlentheer

enthaltene Benzol als Grundkohlenwasserstoff zurück. Er nahm in dem Benzol und allen Benzolabkömmlingen einen Ring an, der aus sechs miteinander in abwechselnder doppelter oder einfacher Bindung befindlichen Kohlenstoffatomen besteht. Ein Gebiet von grenzenloser Ausdehnung wurde durch diese Idee theoretisch erschlossen, es umfaßt alle Kohlenstoffverbindungen, die man sich durch Ersatz der Wasserstoffatome des Benzols durch die Atome anderer Elemente abgeleitet denken kann. Die Ermittlung des Baues oder der Struktur der in der Natur vorkommenden, sowie der künstlich dargestellten aromatischen Verbindungen wurden damit der zielbewußten experimentellen Forschung zugänglich.

Um die Vorstellungen, die man sich auf Grund der Valenztheorie von der Verkettung und Ringbildung der Kohlenstoffatome untereinander und mit den Atomen anderer Elemente machte, seinen Schülern durch die Anschauung übermitteln zu können, erdachte K. Atommodelle verschiedener Form, zuletzt solche, die die Atome der Elemente durch gleich große, verschieden gefärbte Holzkugeln darstellten, z. B. das einwerthige Wasserstoffatom durch eine weiße, mit einer Messinghülse versehene Kugel, das vierwerthige Kohlenstoffatom durch eine schwarze Kugel, die mit vier gleich langen, nach den Ecken eines regulären Tetraeders gerichteten Messingstäben versehen ist. Diese Atommodelle ließen sich ohne Schwierigkeit in der verschiedensten Art miteinander verbinden und ermöglichten eine greifbare Vorstellung über den Bau der Moleküle. Damit war nicht nur dem Lehrer und Schüler, sondern auch dem Forscher ein ausgezeichnetes wissenschaftliches Hilfsmittel für chemische Betrachtungen an die Hand gegeben. K. führte sein Ringen nach einer Veranschaulichung des Baues chemischer Verbindungen durch Atommodelle gern auf seine architektonischen Studien zurück.

Auf Grund seiner Benzoltheorie wendete sich K. damals auch experimentellen Arbeiten auf diesem Gebiete zu. Er fand eine Synthese aromatischer Monocarbonsäuren durch gleichzeitige Einwirkung von Natrium und Kohlendioxyd auf Brombenzol und alkylierte Brombenzole, er lehrte die aromatischen Diazoamidverbindungen in Amidoazoverbindungen umlagern und klärte die Constitution der von Peter Griess entdeckten aromatischen Diazoverbindungen auf.

August K. hatte den Gipfel seines Ruhmes erreicht. Die preußische Regierung berief ihn 1867 an August Wilhelm Hofmann's Stelle, der Nachfolger Mitscherlich's in Berlin wurde, an das neuerbaute chemische Institut der Universität Bonn. Die Einrichtung und Leitung des Instituts übernahm K. zunächst gemeinschaftlich mit Hans Landolt, bis dieser einem Rufe nach Aachen folgte.

Die ersten Jahre seiner Bonner Thätigkeit brachten zahlreiche Experimentaluntersuchungen Kekulé's meist aus dem Gebiet der aromatischen Substanzen, die er zum Theil in Gemeinschaft mit Schülern ausführte, die ihm auch in Bonn zuströmten. So arbeitete er mit Szech über das Phenylmercaptan und Phenylsulfid, mit Thorpe über Aethylbenzoësäure, mit Hidegh über Oxyazobenzol, mit Franchimont über das Triphenylmethan, mit Pott und Flesch über die Bildung von Cymol aus Campher mit Phosphorpentasulfid. An letztere

Beobachtung knüpfte K. Betrachtungen über die Constitution des Camphers. Auch mit dem Indigo beschäftigte er sich damals und stellte die später durch Synthese von Claisen und Shadewell als richtig bewiesene Isatinformel auf. Auf dem Gebiete der Fettchemie bewegten sich seine, gemeinschaftlich mit Zincke ausgeführten Untersuchungen über die polymeren Modificationen des Acetaldehyds. Hervorgehoben seien auch Kekulé's Betrachtungen über die Condensation des Acetaldehydes und die Constitution des Phorons.

1873 lehnte K. einen ehrenvollen Ruf, als Liebig's Nachfolger Bonn mit München zu vertauschen, ab.

Im J. 1876 schloß K. eine zweite Ehe mit Louise Högel, einer Rheinländerin, die ihm bis zu seinem Lebensende eine treue Gefährtin und namentlich in dem Leiden seiner letzten Lebensmonate eine aufopfernde Pflegerin gewesen ist. Dieser Ehe entsprossen ein Sohn Fritz und die beiden Töchter Louise und Auguste. Das weiche Gemüth Kekulé's trat besonders zu Tage in der rührenden Zärtlichkeit, mit der er seinen Kindern zugethan war.

Das Vertrauen seiner Collegen berief K. im Herbst 1877 als Rector Magnificus an die Spitze der rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität. Aus dieser Zeit stammt die am 18. October 1877 zum Antritt des Rectorates gehaltene Rede: „Die wissenschaftlichen Ziele und Leistungen der Chemie“ und die am 22. März 1878 am Geburtsfest Kaiser und Königs Wilhelm I. gehaltene Rede: „Die Principien des höheren Unterrichts und die Reform der Gymnasien“.

Allmählich machte sich bei K. eine nach den fast übermenschlichen Arbeitsleistungen der Heidelberger und Genter Zeit erklärliche, langsam zunehmende Erschöpfung bemerklich, dazu kam eine ihn störende Schwerhörigkeit. Aber stets verfolgte er mit aufmerksamem Blick die Fachlitteratur, wofür von Zeit zu Zeit durchschlagende kritische Experimentaluntersuchungen, die er mit seinen Schülern und Assistenten ausführte, Zeugniß ablegen. Mit Richard Anschütz veröffentlichte K. die Oxydation der Fumarsäure zu Traubensäure und der Maleinsäure zu inactiver Weinsäure. Einwände gegen seine Benzolformel beseitigte er durch die in Gemeinschaft mit Hugo Schröter ausgeführte Untersuchung „Ueber die Carboxytartronsäure“ und durch eine mit Otto Strecker veröffentlichte Arbeit „Ueber die Trichlorphenomalsäure“. Eine Reihe seiner Bonner Assistenten und Mitarbeiter wie Glaser, Zincke, Wallach, Claisen, Klinger, Bernthsen, Anschütz, Bredt, Hugo Schröter nahmen später leitende Stellen an Hochschullaboratorien oder in der Theerfarbenindustrie ein.

Im Frühjahr 1896 erkrankte K. an Grippe und Lungenentzündung, es entwickelte sich ein Herzleiden, das um die Mittagsstunde des 13. Juli sein großes Forscherleben endete.

Es ist schwer wenn nicht geradezu unmöglich, den Einfluß der aus der Vierwerthigkeit des Kohlenstoffs abgeleiteten Theorien der Verkettung und der Ringschließung der Kohlenstoffatome auf die Entwicklung der organischen Chemie zu ermessen, aber man kann ihn nicht leicht zu hoch bewerthen. Besonders der im Gebiete der Kohlenstoffverbindungen thätige Forscher

lebt im Banne der Kekulé'schen Ideen: sie geben ihm den Schlüssel zum Verständniß der Aufbau- und Abbau-Reaktionen auch der verwickeltesten Kohlenstoffverbindungen, sie ermöglichen ihm, die weit über hunderttausend bis jetzt bekannten Kohlenstoffverbindungen zu ordnen, sie lehren ihn die genetischen Beziehungen nicht nur ein-, sondern häufig voraussehen. So umschlossen Kekulé's Theorien in der That eine Zeitlang fast den Gesamtumfang unseres Wissens über die Kohlenstoffverbindungen und trugen die Keime zur Weiterentwicklung in sich. Aus Kekulé's Kohlenstoffmodell ist die Theorie des asymmetrischen Kohlenstoffs von van't Hoff und Le Bel und Adolf v. Baeyer's Spannungstheorie herausgewachsen.

Kekulé's Theorien, besonders seine Benzoltheorie, geben die wissenschaftliche Grundlage für die Fabrikation der künstlichen organischen Farbstoffe, Arzneimittel und Riechstoffe ab, für deren Gewinnung der Steinkohlentheer das Hauptausgangsmaterial bildet. Nicht nur gelang es werthvolle, in der Natur vorkommende Farbstoffe wie Alizarin und Indigo auf Grund der durch Kekulé's Theorien gewonnenen Einsicht in die Struktur ihrer Moleküle aus Theerkohlenwasserstoffen aufzubauen, sondern Scharen organischer Farbstoffe, Arzneimittel und Riechstoffe, die wir in der Natur nie finden werden, erblickten in den verfloßenen vierzig Jahren in den Laboratorien der Hochschulen und der Fabriken das Licht der Welt. K. selbst hat sich an der Herstellung technisch werthvoller Kohlenstoffverbindungen niemals betheilig, aber seiner Benzoltheorie ist das beispiellose Aufblühen der deutschen Theerfarbenfabriken, das er miterleben durfte, zu verdanken. Bei Gelegenheit der im J. 1890 von der Deutschen chemischen Gesellschaft in Berlin veranstalteten 25jährigen Jubelfeier der Kekulé'schen Benzoltheorie ehrten deutsche Theerfarbenfabriken den Schöpfer dieser Theorie und sich selbst, indem sie Kekulé's Bild, von Angeli's Meisterhand gemalt, der Nationalgalerie überwiesen, um von dieser hervorragenden Stelle aus die Züge eines der erfolgreichsten Denker der deutschen Nation der Nachwelt vor Augen zu führen. In wichtigen Patentstreitigkeiten der großen Theerfarbenfabriken wurde K. zum Schiedsrichter aufgerufen und beeinflusste durch seine tief durchdachten Gutachten die Entwicklung unseres Patentrechtes.

|
Auch sonst hat es K. an Anerkennung seiner Verdienste nicht gefehlt; er war Mitglied der meisten europäischen Akademien, außer anderen Auszeichnungen wurde ihm 1874 die Copley-Medaille, 1885 die Huyghens-Medaille, 1888 der bairische Maximilians-Orden für Kunst und Wissenschaft, am 31. Mai 1893 die Friedensclasse des preußischen Ordens pour le mérite verliehen.

Durch Diplom vom 27. März 1895 wurde dem Geheimen Regierungsrath Professor Dr. August Kekulé von Seiner Majestät dem Kaiser und König Wilhelm II., der als Prinz Wilhelm im Sommersemester 1878 bei K. Experimentalchemie gehört hatte, der ausländische Adel unter dem von seinen böhmischen Vorfahren geführten Namen „Kekule von Stradonitz“ nebst dem überkommenen Wappen anerkannt und erneuert.

In K. fanden sich in glücklichster Weise die Gaben des Forschers mit denen des Lehrers vereinigt. Seine Vorlesungen waren übersichtlich in der Anordnung

des Stoffes, klar und anschaulich in der Darstellung und unübertroffen in der Art, wie die von ihm mit spielender Leichtigkeit und Anmuth ausgeführten Vorlesungsversuche sich dem Lehrvortrag einfügten.

Vor dem chemischen Institut zu Bonn, in dem August K. als einer der gefeiertsten Lehrer der rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität fast 30 Jahre wirkte, erhebt sich das am 9. Juni 1903 enthüllte Erzstandbild Kekulé's inmitten anmuthiger Gartenanlagen. Das von Hans Everding aus Rom geschaffene Denkmal stellt uns K. im kräftigsten Mannesalter, als akademischen Lehrer dar, umgeben von den durch Sphinxen versinnbildlichten Räthseln der Chemie. Als Ornament hat der von seiner Aufgabe durchdrungene Künstler, um die berühmteste Leistung Kekulé's zum Ausdruck zu bringen, Sechsecke in die Lagen eingefügt, die den Sockel der Sphinx mit dem Postament verbinden. Everding will damit sagen, daß ein Theil des Weges, der zur Lösung der räthselvollen chemischen Naturerscheinungen führt, durch Kekulé's Benzoltheorie erhellt ist. Die Verdienste dieser Theorie um die Theerfarbenfabriken bringt ein Bronzerelief zum Ausdruck: die Wissenschaft schenkt der Industrie Kekulé's Modell des Benzols.

August K. wurde auf dem Poppelsdorfer Friedhof am Abhang des Kreuzberges bei Bonn bestattet. Sein Grabdenkmal trägt in rothen schwedischen Granit eingelassen ein von dem Bonner Universitätsbildhauer Professor Küppers modellirtes ausgezeichnetes Bronzerelief, das die Züge des gealterten Gelehrten auf das treueste wiedergibt.

Kekulé's Abhandlungen finden sich größtentheils in Liebig's Annalen der Chemie, in den Berichten der Königlich Belgischen Akademie zu Brüssel und in den Berichten der deutschen chemischen Gesellschaft.

Bei der Abfassung vorstehender Lebensbeschreibung wurden unter anderen folgende litterarische Hülfsmittel benutzt: Bericht über die Feier der Deutschen Chemischen Gesellschaft zu Ehren August Kekulé's von Gustav Schultz: Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft 1890, Bd. 23, S. 1265 bis 1312. — August Kekulé Nachruf von Richard Anschütz: Chronik der Rheinischen Friedrich Wilhelms-Universität zu Bonn, Jahrgang 22, S. 9—15. — Gedächtnißrede auf August Kekulé von Otto Wallach: Nachrichten der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Geschäftliche Mittheilungen 1897, Heft 1. — August Kekulé Nachruf von Otto Wallach: Naturwissenschaftliche Rundschau, Jahrgang XI, Nr. 34. — August Kekulé Nachruf von H. Wichelhaus: Die Chemische Industrie, Jahrgang XIX, S. 313—315. — August Kekulé Nachruf von Wilhelm Königs: Münchener Medizinische Wochenschrift 1896, Nr. 39, 40 und 41. — Kekulé Memorial Lecture by Francis R. Japp, F. R. S.: Journal of the Chemical Society, London 1897, S. 97—138. — Ein Dreigestirn großer Naturforscher an der Heidelberger Universität im 19. Jahrhundert, II, von A. Kußmaul: Deutsche Revue 1902, Bd. 27, S. 173—187. — Das Kekulé-Denkmal in Bonn und die Feier seiner Enthüllung am 9. Juni 1903 von Eberhard Rimbach: Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft 1903, Bd. 36, S. 4614—4640.

Autor

Richard Anschütz.

Empfohlene Zitierweise

, „Kekulé, August“, in: Allgemeine Deutsche Biographie (1906), S.
[Onlinefassung]; URL: <http://www.deutsche-biographie.de/>.html

02. Februar 2024

© Historische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
