

Albert Ladenburg und die "Kekulé-Formel" des Benzols

Günter Paulus Schiemenz

Institut für Organische Chemie der Universität Kiel,
Olshausenstraße 40-60, D-2300 Kiel

1965 gaben die Deutsche Bundespost und die belgische Post Sondermarken heraus, die das Centenarium der Benzol-Formel kommemorierten. Auf ihnen ist jene Formel abgebildet, die jedem Chemiker als die "Kekulé-Formel" vertraut ist. Das Jubiläum wurde freilich zur Unzeit gefeiert: Diese Formel hat weder 1865 das Licht der chemischen Literatur erblickt, noch ist sie von Kekulé.

Der erste Punkt ist an sich aktenkundig; er wird nur in der Regel nicht zur Kenntnis genommen.

Am 15. September 1965 hat die Gesellschaft Deutscher Chemiker im Rahmen ihrer Hauptversammlung in Bonn eine Festsitzung zu Ehren von August Kekulé veranstaltet. Die Feier galt dem großen Baumeister der organischen Chemie, der hundert Jahre zuvor [also 1865] das Benzol als sechsgliedrigen Ring mit drei Doppelbindungen formuliert hatte.

So leitete Richard Kuhn 1966 die Buchausgabe der Festvorträge [1] ein, die damals in Bonn gehalten worden waren. Auch der Titel dieses Buches spiegelt diese Auffassung wider: "Kekulé und seine Benzolformel". 1977 schrieb aber A. H. Schmidt [2]: "... dem Jahre 1865 .., in dem A. von Kekulé ein Sechseck ... als Strukturformel für Benzol vorschlug. Erst 1872 vervollständigte Kekulé diesen Strukturvorschlag durch Einbezug von drei Doppelbindungen." Auch diese Lesart ist, freilich an anderer Stelle, nicht korrekt, indem es einen Mann namens "A. von Kekulé" nie gegeben hat. Der Mensch, um den es geht, hieß schlicht August Kekulé. Mit dem Akzent wollte die Familie ausdrücken, daß der Name auf der dritten Silbe zu betonen sei. Das war nicht selbstverständlich; denn die Familie wohnte in Darmstadt, wo August am 7. September 1829 geboren wurde. Die Zeit des Rheinbunds und damit die massiver französischer Einflüsse war erst 15 Jahre vorbei, und so hatte sein Vater ein Bedürfnis empfunden, dafür zu sorgen, daß der Name nicht analog *molecula* > *molecule* > *molécule* > *Molekül* zu einem *Kekül* wurde. Augusts Sohn Stephan, am 1. Mai 1863 geboren, 1865 also gerade zwei Jahre alt, wurde später Genealoge, der z.B. als Sachgutachter im lippischen Thronstreit zu Rate gezogen wurde, und als solcher kümmerte er sich Jahrzehnte später auch um die eigene Familiengeschichte. Es heißt, er habe herausgefunden, daß die Familie, die aus Stradonitz in Böhmen stammte, früher einmal ein Adelspatent besessen habe, und dies

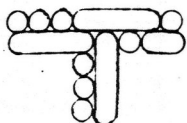
genügte in jener auf äußere Ehren ausgerichteten Zeit, an seine Majestät den Kaiser heranzutreten, seinem mittlerweile berühmten Vater dieses Adelspatent zu erneuern, was Wilhelm II. 1 1/4 Jahr vor Augusts Tod 1895 auch unter dem Namen Kekule von Stradonitz tat - an der Archäologie mehr als an der Chemie interessiert, bei dem Sohn eines Veters zweiten Grades, Reinhard Kekulé, Professor der Archäologie an der Universität Berlin, gleich mit. Wenn "von", dann also "Kekule von Stradonitz", wenn einfach "Kekulé", dann ohne "von". Aber dreißig Jahre zuvor hätte August Kekulé, der seine beiden großen Ideen nach eigener Aussage geträumt hatte (die Strukturtheorie auf dem Oberdeck des Omnibusses in London, die ringförmige Struktur des Benzols vor seinem Kamin in Gent), von einem "von" allenfalls träumen können.

1865 also entschloß sich August Kekulé, seine schon einige Zeit zurückliegende Träumerei am flandrischen Kamin dem Publikum anzutragen. Er tat dies, des Französischen völlig mächtig, im Bull. Soc. chim. France [3], sodann ausführlicher im Februar 1866 in Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie [4]. Es genügt hier, auf die deutsche Publikation zurückzugreifen. Auf S. 133 ff. führt er aus: Alle aromatischen Verbindungen haben ein und dieselbe Atomgruppe, hier Kern genannt, und aus der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs resultiert die folgende Hypothese:

Wenn sich mehrere Kohlenstoffatome mit einander verbinden, so kann dieß zunächst so geschehen, daß sich je *eine* Verwandtschaftseinheit des einen Atoms gegen *eine* Verwandtschaftseinheit des benachbarten Atoms bindet. ... Man kann nun weiter annehmen, daß sich mehrere Kohlenstoffatome so aneinanderreihen, daß sie sich stets durch je zwei Verwandtschaftseinheiten binden; man kann ferner annehmen, die Bindung erfolge *abwechselnd* durch je *eine* und durch je *zwei* Verwandtschaftseinheiten. ... so erhält man eine Gruppe, die, wenn man sie als *offene Kette* betrachtet, noch *acht* nicht gesättigte Verwandtschaftseinheiten enthält. Macht man dann die weitere Annahme, die zwei Kohlenstoffatome, welche die Kette schließen [= am Kettenende stehen], seien untereinander durch je eine Verwandtschaftseinheit gebunden, so hat man eine *geschlossene Kette* (einen symmetrischen Ring), die noch *sechs* freie Verwandtschaftseinheiten enthält.

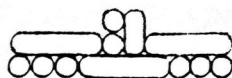
Es ist dies an sich eine komplette *verbale* Version dessen, was die uns geläufige Benzolformel als Piktogramm ausdrückt, aber diese Formel schreibt Kekulé nicht. Wenige Jahre zuvor hatte er bei der Deutung der aliphatischen Verbindungen (das war der Traum auf dem Londoner Omnibus) in scharfer Konkurrenz zu dem Schotten Archibald Couper (1831 - 1892) gestanden, und Couper gilt als der Erfinder des Valenzstriches. Es mag sein (ist aber nicht ausdrücklich gesagt), daß Kekulé sich scheute, Coupers Schreibweise zu übernehmen, um seine Eigenständigkeit, vielleicht sogar seine Priorität nicht zu gefährden. Wie immer dem sei, Kekulé benutzte eigene Formeln, "um die hier entwickelten Ansichten verständlicher zu machen, als es durch Worte allein geschehen kann." Es handelt sich um eine Schreibweise, die zur

Geometrie der Verbindungen überhaupt nichts aussagt und die Wertigkeit der beteiligten Atome durch die Länge ihrer Symbole wiedergibt. Ein einwertiges Atom ist ein Kreis - ein H-Atom ein einfacher Kreis, ein Chlor-Atom ein schraffierter Kreis gleicher Größe - gleicher Größe (Abb. 4): es handelt sich also nicht um Atomradien. Ein mehrwertiges Atom ist durch ein Stäbchen beschrieben, dessen Querschnitt gleich dem Kreisdurchmesser ist und dessen Länge entsprechend seiner Wertigkeit ein Mehrfaches dieses Kreisdurchmessers beträgt. Diese geometrischen Figuren werden parallel nebeneinander gelegt. In der Regel bedeuten Berührungen an den Längsseiten der Stäbchen Bindungen, z.B. beim n-Propanol und Aceton.



28. Methyl- Äthylalkohol.

Abb. 1



30. Acetonalkohol.

Abb. 2

"Methyl-Äthylalkohol" und "Acetonalkohol", den man durch Reduktion von Aceton gewann, galten damals als verschiedene Verbindungen, und mit Hilfe einer geringen Inkonsistenz trugen Kekulé's Formeln diesem "Experimentalbefund" vorzüglich Rechnung. Im Beispiel 28. (Abb. 1) hat ein Kohlenstoff auf sich drei Wasserstoff-Atome und eine Wertigkeit eines weiteren Kohlenstoffs, also H_3C-C . Dieser trägt einen weiteren Kohlenstoff, an den abermals drei Wasserstoffe gebunden sind, außerdem einen Wasserstoff und ein "zweiwertiges Stäbchen", also einen Sauerstoff, der seinerseits einen Wasserstoff bindet, insgesamt also: $H_3C-C(H)-C(H)_3$ Isopropanol. Aber der Kohlenstoff der einen Methylgruppe ist mit dem Kopfende, nicht an der Seite gebunden. Löst man analog die Formel des "Acetonalkohols" (Nr. 30) auf, so kommt man ebenfalls zum Isopropanol: Ein mittlerer Kohlenstoff, der an seinen vier Wertigkeiten zwei Methyl-Gruppen, ein H und einen Sauerstoff trägt, an dessen zweiter Wertigkeit noch ein H hängt. Hier stößt der Sauerstoff kopfseitig an den Kohlenstoff, an den er gebunden ist. Andererseits ist nicht jede Berührung eine Bindung.

Ohne diese Inkonsistenzen geht es nicht. Kekulé freilich war damit ganz zufrieden; die "verschiedenen" Formeln erklärten ja vorzüglich, daß die beiden Alkohole verschieden waren.

Entsprechend die Formel des Benzols (Abb. 3). Zwei solcher Lagen befinden sich so aufeinander, daß ein C-Atom immer mit einer Wertigkeit einen anderen Kohlenstoff, dann einen Wasserstoff und mit den restlichen beiden Wertigkeiten den nächsten Kohlenstoff bindet, dieser



3. Benzol.

Abb. 3



4. Monochlorbenzol.

Abb. 4

dann einen Wasserstoff und mit der verbleibenden *einen* Wertigkeit den dritten, usw. An jedem Ende bleibt eine Wertigkeit frei, und zwei Pfeile bedeuten, daß diese sich mit einander zu einer "geschlossenen Kette", also einem Ring, verbinden. Das *ist* natürlich die komplette Vorstellung dessen, was die uns geläufige Benzol-Formel ausdrückt, aber es *ist* eben nicht diese Formel. Ob Kekulé mit diesem Piktogramm auch alles *gemeint* hat, was "die" Benzolformel impliziert, bleibt zu prüfen.

Eine zweite Fassung seiner Ideen publizierte Kekulé im Bulletin de l'Academie Royale de Belgique [5]. Hier taucht erstmals (neben den Formeln aus Stäbchen und Kreisen) das Piktogramm eines regelmäßigen Sechsecks auf; auch dieses kehrt 1866 in den Annalen wieder (S. 158). Es ist natürlich auch nur ein Formel-Äquivalent für etwas, was auch in Worten gesagt ist:

Die sechs Kohlenstoffatome des Benzols sind untereinander in völlig symmetrischer Weise verbunden, man kann also annehmen, sie bilden einen völlig symmetrischen Ring; die sechs Wasserstoffatome sind dann nicht nur in Bezug auf den Kohlenstoff völlig symmetrisch gestellt, sondern sie nehmen auch im Atomsystem (Molecul) völlig analoge Plätze ein; sie sind also gleichwertig. Man könnte dann das Benzol durch ein Sechseck darstellen, dessen sechs Ecken durch Wasserstoffatome gebildet sind:

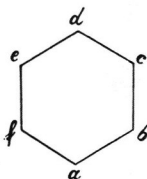


Abb. 5

Es folgt die Formel 5. Nota bene: Das Sechseck ist also nicht die "Kekulé-Formel" ohne eingezeichnete Doppelbindungen, sondern eine geometrische Figur, die diese *umschließt* ("dessen sechs *Ecken* durch *Wasserstoffatome* gebildet sind!"): Die sechs *Kanten* des Sechsecks sind also nicht nur nicht je drei alternierende Einfach- und Doppelbindungen sind überhaupt keine kovalenten Bindungen! Kekulé's Sechseck-Formel steht zur Valenzstrichformel des Benzols in derselben

Beziehung wie die geometrische Figur eines Tetraeders zur Formel des Methans. Es folgt dann jener berühmte Fehlschluß, auf den Albert Ladenburg aufmerksam machte:

Man sieht dann leicht ein, daß für die durch stets fortschreitende Substitution entstehenden Derivate die folgenden isomeren Modificationen möglich sind. Man hat z.B. für die Bromsubstitutionsprodukte: ... 2) Bibrombenzol: drei Modificationen: ab, ac, ad.

Albert Ladenburg sah das nicht leicht ein. Ladenburg, am 2. Juli 1842 in Mannheim geboren, hatte in Heidelberg Chemie studiert und dort 1863 promoviert. Als Post-Doc ging er 1865 zu Kekulé nach Gent. Dort war er zwar nur kurz; denn noch im selben Jahr ging er zu Wurtz nach Paris, aber diese kurze Zeit hat ihn tief geprägt. Einer seiner Mit-Post-Docs war Carl Glaser (1841-1935), der 1864 bei Strecker in Tübingen promoviert hatte und später in der BASF Alizarin produzierte und schließlich bis in die Firmenleitung aufstieg. Glaser charakterisierte die Situation in Gent folgendermaßen:

Das Privatlaboratorium [Kekulé's] lag neben dem Auditorium und hatte fünf Arbeitstische. Ich hatte meinen Platz neben dem des Chefs, der während der Arbeit immer laut dachte und mit den im Privatlaboratorium Arbeitenden die Probleme erörterte, die ihn beschäftigten. Damals waren Swarts, Körner, Ladenburg, Fitz, Wichelhaus und August Mayer mit uns; später besuchten Dewar, Brunck, Haarhaus, Radziszewski und andere die klassische Stätte zu längerem Aufenthalt [6].

Mit Kekulé's eigenen Worten: "Es war weniger ein systematischer Unterricht als ein erfreuliches, freies akademisches Zusammenleben" [6]. Und Frédéric Swarts, der Sohn des erwähnten Théodore Swarts: "Seinen Schülern war er [= Kekulé] ein Freund, der sich ... gerne der professoralen Würde entledigte ..." [6]. Worüber der Meister damals laut nachdachte, ist klar, da ja 1865 und Anfang 1866 seine Publikationen über das Benzol erschienen. Kekulé, Wilhelm Körner, James Dewar und eben auch Ladenburg haben später in ihren Publikationen nur die Diskussionen weitergeführt, die sie schon im Genter Labor miteinander hatten.

Kekulé wurde zum 1. Juni 1867 nach Bonn berufen; im selben Jahr ging Ladenburg von Paris nach Heidelberg, wo er sich im Januar 1868 habilitierte; 1872 wurde er dort apl. Professor. Zu Ostern 1873 ging er dann als Ordinarius nach Kiel, wo er 1884 Rektor der Universität war, 1889 an die Universität Breslau, wo er 1911 starb [7]. In der Annalen-Publikation 1866 hatte Kekulé nicht nur die Sechseck-Formel vorgestellt, sondern auch eine Dreiecksformel (Abb. 6) diskutiert, aber deswegen zurückgestellt, weil diese eine größere Zahl isomerer Substitutionsprodukte erwarten ließe. Zurückgestellt, nicht ausgeschlossen; denn Kekulé war sich bewußt, daß möglicherweise noch nicht alle Isomeren bekannt waren. Es war also nicht im

Widerspruch zu Kekulé, sondern in völliger Übereinstimmung mit seinen Gedanken, wenn Dewar, Claus, Körner und eben auch Ladenburg weitere

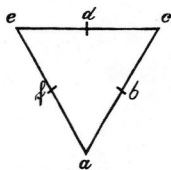


Abb. 6

Formeln erdachten und austesteten. Nur dieses tat in einem noch nicht einmal zwei Seiten langen Artikel "Bemerkungen zur aromatischen Theorie" 1869 der noch nicht [8] 27-jährige Heidelberger Privatdozent Ladenburg. Und es ist diese Stelle [9], wo sich die Gedanken Kekulé's erstmals in der Form dessen ausgedrückt finden, was wir die Kekulé-Formel des Benzols nennen:

Fig. 1.

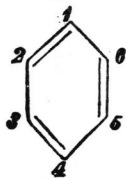


Abb. 7

Schon vor mehreren Jahren [d.h. bei jenen Diskussionen im Labor zu Gent] hatte ich Gelegenheit, Hrn. Kekulé darauf aufmerksam zu machen, daß die von ihm gegebene, hier nebenstehende graphische Formel des Benzols der Hypothese nicht genügt, daß hier 1,2 und 1,6 ungleich sein müßten, während man über die Identität der Plätze 3 und 5 verschiedener Ansicht sein könne.

(Das hängt nämlich davon ab, ob zwei meta-Substituenten gleich oder ungleich sind.)

Loyalerweise sagt zwar Ladenburg selbst, daß Kekulé diese Formel gegeben habe. Daß dieser sie bereits in den Laborgesprächen benutzt hat, ist aber unwahrscheinlich; jedenfalls hat Kekulé sie zunächst nicht in seine Druckschriften übernommen - die Formel nicht und auch nicht Ladenburgs Einwand gegen sie.

Um seinem Einwand Rechnung zu tragen, *diskutiert* Ladenburg drei neue Formeln (Abb. 8):

Fig. 2.

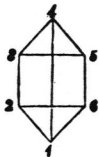


Fig. 3.

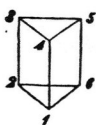


Fig. 4.



Abb. 8

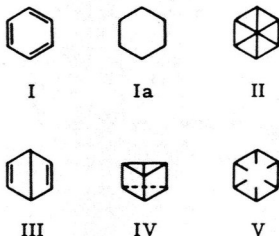
Er *diskutiert* sie, so wie auch Kekulé zwei Formeln *diskutiert* hatte und Bewar im selben Jahr sogar sieben drucken ließ; er behauptet wie Kekulé nicht, eine von ihnen sei die "richtige" Formel. Er äußert zunächst auch keine Vorstellungen, wie die Formeln *räumlich* zu verstehen sind, d.h. er sagt nicht, daß Fig. 3 als ein dreidimensionales Prisma zu verstehen sei [10]. Die Formeln wurden nur unter dem Gesichtspunkt entworfen, daß in allen dreien jedes C-Atom mit *drei* weiteren C-Atomen verknüpft ist. Seinem Genter Laborkollegen Heinrich Wichelhaus gegenüber erläuterte er [11], er habe "mit den drei Zeichnungen (Fig. 2, 3 und 4) nicht drei Formeln geben wollen, sondern nur eine einzige, die in verschiedenen Stellungen gezeichnet und so

beziffert ist, daß die Übereinstimmung klar hervortritt". In der Tat ist die "Davidstern-Formel" nur eine Prismenformel, in der das vordere Dreieck gegenüber dem hinteren um 180° verdreht ist; Fig. 3 verhält sich zu Fig. 4 wie eine Fischer-Projektion zur gestaffelten Konformation. Und Ladenburg spezifizierte im selben Jahr [12]:

Benutzt man, wie dies häufig geschieht, graphische Formeln zur Veranschaulichung der Constitution, so sind die geometrischen Verhältnisse maßgebend für die gegenseitigen Beziehungen der Atome, wobei wir uns üblicher Weise verwahren, durch die Figur die räumliche Lagerung angeben zu wollen. Wenn ich die Constitution des Benzols durch ein gleichseitiges dreikantiges Prisma darstelle, so war dadurch angedeutet, daß ich die 6 Kohlenstoffatome als einander gleichartig betrachtete

- mehr nicht! Und Ladenburg zieht seinen Vorschlag nicht einmal dem Kekulé's vor:

Freilich zerstört diese Annahme eine der Grundlagen der Theorie aromatischer Körper, wonach diese doppelt gebundenen Kohlenstoff enthalten; nichtsdestoweniger schließt sie sich den Thatsachen fast ebensogut an, wie die Formel Kekulé's. Jene giebt uns wie diese [Annahme, nicht Formel!] eine Anschauung der Benzolbildung aus Acetylen; es können durch sie die Additionsprodukte, wenn auch weniger elegant, erklärt werden... Trotzdem wird man mit Recht anstehen, Kekulé's Formel, welche so ausgezeichnete Dienste leistete, mit diesen zu vertauschen, so lange die Thatsachen solches nicht verlangen, d.h. bevor die zweite Hypothese bewiesen ist.



- I: Kekulé 1865
 Ia: vereinfacht
 II: Claus 1867
 III: Dewar 1869
 IV: Ladenburg 1869
 V: Armstrong und Baeyer 1887

Abb. 9

Und dann führt Ladenburg Ergebnisse von Hübner und Petermann an, die seine Hypothese "wie ich mich vielleicht ausdrücken darf, zur Hälfte beweisen."

Die Situation stellt sich damit völlig anders dar, als sie Robert Wizinger-Aust 1965 in seinem Festvortrag auf der Kekulé-Veranstaltung der GDCh in Bonn schilderte (Abb.9) [13]: "I: Kekulé 1865" - stimmt nicht. "Ia: [dasselbe] vereinfacht" - stimmt auch nicht, da es zwar das Hexagon gibt, aber dieses etwas anderes bedeutet. "IV: Ladenburg 1869" - stimmt auch nicht: Ladenburg hatte 1869 selbst zur Prismenformel gesagt: "Claus hat diese schon früher aufgestellt (vergl. dessen theor. Betrachtungs-

punkte, p. 268)". Es handelt sich um das Buch "Theoretische Betrachtungen und deren Anwendung zur Systematik der organischen Chemie", Freiburg 1866, des Freiburger Chemikers Dr. Adolph Claus. 1874 zitierte Ladenburg das Buch etwas genauer, jedoch mit der fehlerhaften Jahreszahl 1867 [14]. Diese findet sich 1886 auch bei Adolf (von) Bayer [15] und 1986 bei Rolf Huisgen [16] wieder; vermutlich hat hier nur einer von anderen abgeschrieben, ohne das Werk einzusehen. 1900 teilte ein kurzer Nachruf in den "Berichten" [17] den Tod des 60-jährigen Claus am 4. Mai 1900 in Freiburg mit, nachdem er kurz vorher von seinem Lehramt als Professor der Universität Freiburg, das er drei

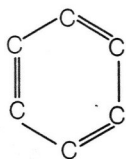
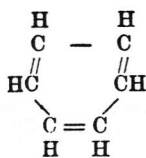


Abb. 10

Jahrzehnte innegehabt habe, zurückgetreten sei. Demnach war Claus 1866 ein junger Mann von 26 Jahren und noch nicht Professor. Auf S. 205 übersetzte er Kekulé's verbale Auffassung von der "geschlossenen Kette", dem "symmetrischen Ring" von sechs Kohlenstoffatomen mit alternierenden einfachen und doppelten Bindungen in das "Schema" (Abb. 10); "es ist bei dieser Anordnung natürlich jedes Atom durch 3 Affinitäten an Kohlenstoff gebunden, und also bleibt für jedes eine Affinität frei, die im Benzol durch Wasserstoff gebunden sind."



Benzol.

Abb. 11

Noch vor Ladenburg, ein Jahr nach Kekulé's erster Formulierung seiner Idee und im selben Jahr wie seine Annalen-Publikation, haben wir hier schon die "Kekulé-Formel", freilich genau genommen für den Benzol-Kern, nicht für das Benzol selbst. Aber auch für dieses findet sich schon ein Beispiel vor Ladenburg, nämlich 1868 in einer Publikation von Carl Graebe [18]. Die Formel des Benzols (Abb. 11) und des Naphtalins (wie damals üblich, nicht mit -phth-) sind hier keine regelmäßigen Sechsecke, vielleicht aus typographischen Gründen, aber darauf kam es auch nicht an; denn einerseits waren Konzepte wie Bindungswinkel u.dergl.

noch ungeboren; andererseits impliziert die wiederholte Aussage, die sechs C-Atome seien gleichwertig, ja doch, daß die im Druckbild vorhandenen Unterschiede bedeutungslos sind, ebenso wie es für die Identität von Personen insignifikant war, daß man Carl Graebe manchmal mit -ae-, manchmal mit -ä- schrieb [19]. Adolph Claus im Vornamen manchmal mit -ph und manchmal mit -f, und daß man damals sogar Goethe mit -ö- schreiben durfte, ohne sich als Kulturbanause unmöglich zu machen.

Die Frage, wer also die "Kekulé-Formel" zuerst formuliert hat, läßt sich nach allem gar nicht mehr beantworten, weil so scharf gar nicht definiert ist, wie eigentlich die "Kekulé-Formel" aussieht. Kekulé selbst war es jedenfalls nicht, und die Endfassung der vollkommenen Abstraktion finden wir zuerst bei Ladenburg. Dem aber lag es völlig fern, einen kleinlichen Prioritätenstreit auszufechten. In seiner ersten Publikation stellte er die "Prismenformel" vor; nachdem er dann aber das Buch von Claus kennengelernt hatte, gab er diesem ohne Zögern die ganze Ehre, worauf aber wieder Claus kaum Wert gelegt haben

dürfte: So wie Ladenburg die "Kekule-Formel", so hatte Claus die "Prismenformel" zwar formuliert, aber eine andere Formel, nämlich die "Diagonalformel" favorisiert. Zum "Ladenburg-Benzol" wurde die Prismenformel also erst dadurch, daß Ladenburg sich in der Diskussion um die Benzolformel zu ihrem Advokaten machte, und nur in diesem Sinn ist dann auch die "Kekulé-Formel" das "Kekulé-Benzol". Dann aber ist, wie sich zeigen wird, das "Dewar-Benzol" kein "Dewar-Benzol".

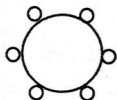


Abb. 12

Eine zu formale Betrachtung lenkt nur von dem ab, worum es Ladenburg eigentlich ging. Wizinger-Aust erinnerte auch an die Entdeckung von Kekulé's Bonner Amtsnachfolger [20] Richard Anschütz, daß Joseph Loschmidt in Wien schon 1861 eine der Kekulé-Formel ähnliche Benzol-Formel entworfen hatte (Abb. 12). Wizinger-Aust meinte:

Die Formelbilder wirken geradezu frappierend. Auf den ersten Blick möchte man meinen, es sei Kekulé alles vorweggenommen. Es besteht aber doch ein wesentlicher Unterschied. Loschmidts Kreis symbolisiert lediglich die Zusammenballung der sechs Kohlenstoffatome zu einem einheitlichen Ganzen... Über die Anordnung der Kohlenstoff- und damit auch der Wasserstoffatome und Substituenten sagt er [= der Kreis] nichts aus.

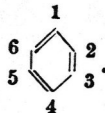
Kekulé kannte diese Arbeit Loschmidts [21] und geht ausdrücklich über sie hinaus, aber die Aussage,

daß in allen aromatischen Substanzen eine und dieselbe Atomgruppe, oder, wenn man will, ein gemeinschaftlicher Kern enthalten ist, der aus sechs Kohlenstoffatomen besteht. Innerhalb dieses Kerns sind die Kohlenstoffatome gewissermaßen in engerer Verbindung oder in dichter Aneinanderlagerung

- diese Aussage ist genau das, was Loschmidts Formel symbolisiert.

Kurze Zeit nach Ladenburg, nämlich 1870, äußerte sich Victor Meyer, damals am Organischen Laboratorium der Gewerbeschule in Berlin, zum Problem [22]. Seine Formulierung ist ganz korrekt:

Die von Kekulé aufgestellte Benzolformel, welche mir die Reaktionen der aromatischen Verbindungen am Besten von allen für das Benzol vorgeschlagenen Formeln zu erklären scheint, kann, wie dieß üblich, in einfach schematischer Weise durch die folgende Figur ausgedrückt werden:



Meyer sagt also nicht, daß diese "Figur" von Kekulé selbst stamme. "Formel" und "Figur" sind hier sichtlich nicht Synonyme. Meyer bringt ein neues, beherzigenswertes Argument in die Diskussion,

ob die Stellungen 1,2 und 1,6 mit einander identisch seien oder

nicht. Der möglicherweise stattfindende Unterschied... ist allerdings, da er nicht einmal durch eine verschiedene Stellung der Atome sondern nur eine abweichende Anordnung der Affinitäten des Kohlenstoffatoms hervorgerufen wird, äußerst subtiler Natur, und es mußte daher wohl zweifelhaft erscheinen, ob ein so feiner Unterschied eine wirkliche chemische Varietät bedingen oder ob derselbe ohne merklichen Einfluß auf die Eigenschaften der Substanz sein würde.

1872 wollte aber Kekulé davon nichts wissen [23]. Er referierte die ganze, im Detail komplizierte Vorgeschichte und gab die folgenden "Schemata" (Abb. 13):



Abb. 13

"Das Schema 1 drückt nun die Hypothese aus, die ich ursprünglich mitgeteilt habe". "... drückt die Hypothese aus" - Kekulé nimmt nicht in Anspruch, daß die "Figur" 1. von ihm sei. Ladenburg ist nur mit der "Figur" 5 angeführt (für die dieser die Urheberschaft nicht beanspruchte). Auch für Kekulé ist es nicht eine Kontroverse 1. vs. 5., also Kekulé contra Ladenburg: "Ich muß jetzt bemerken, daß auch mir die durch die Schemata 3 und 5 ausgedrückten Ansichten längere Zeit eine besondere Wahrscheinlichkeit zu haben schienen", und zwar - das ist neu! - weil die Figur 1. eine ebene Anordnung ausdrückt, eine räumliche aber wahrscheinlicher sei, die "Schemata" 3. und 5. aber räumlich verstanden werden, und zwar 3. im Sinne von "einem auf einer Dreiecksfläche aufliegenden, etwas platt ausgebildeten Octaëder", 5. als "ein dreiseitiges Prisma mit den sechs Kohlenstoffatomen in den sechs Ecken". Hier hat Kekulé in Ladenburg etwas hineininterpretiert, was dieser ausdrücklich nicht hatte sagen wollen, und alle Nachwelt [24] ist hier Kekulé gefolgt, so daß der Nachweis des ebenen Hexagons Ladenburg zu Unrecht mit dem Odium behaftet, sich geirrt zu haben. Und jetzt Kekulé zu Meyers Argument:

Andere meinen, eine solche Verschiedenheit sei zwar ideell vorhanden, aber ein so feiner Unterschied der Structur übe keinen merklichen Einfluß auf die Eigenschaften aus, er bedinge Unterschiede, für deren Erkennung wir noch keine Mittel besitzen. Ob die Schwierigkeit durch solche Hypothesen gehoben wird, lasse ich dahingestellt; ich meinerseits würde die von mir herrührende Benzolformel fallen lassen, wenn ich sie nur durch derartige Annahmen noch retten könnte.

Und dann eine Distanzierung von der Formel, die wir die Kekulé-Formel nennen: Ladenburg habe den Unterschied zwischen 1,2 und 1,6 überbetont;

Ich bin schon seit lange der Meinung, diese Ansicht leite sich mehr aus der Form ab, deren wir uns bedienen [d.h. aus der "Kekulé-Formel"], als aus dem Gedanken, welche diese Form in etwas unvollkommener Weise ausdrückt.

Es folgt dann anhand der "beiden Kekulé-Formeln" recht langsam etwas, was inhaltlich die (bekanntlich unzutreffende) Oszillationstheorie ist, und dann noch ein ganz schwaches Argument:

Die Struktur des Benzols ist nämlich offenbar endgültig festgestellt, sobald es gelingt, diesen Kohlenwasserstoff synthetisch so darzustellen, daß die Art der Synthese über die Art der Bindung der Kohlenstoffatome keinen Zweifel läßt

- z.B. aus Acetaldehyd, so wie Mesitylen aus Aceton, mit rabiaten chemischen Methoden.

A.H. Schmidt hatte also recht, wenn er 1977 schrieb [2] "Erst 1872 vervollständigte Kekulé diesen Strukturvorschlag durch Einbezug von drei Doppelbindungen". Aber er war eben nicht der erste, der das tat. Zwar könnte man einwenden, das Konzept sei doch wenigstens in seiner verbalen Fassung von Kekulé; da aber Kekulé expressis verbis nicht all das meinte, was die Formel (wie Ladenburg richtig sah) implizierte, trifft auch dieses streng genommen nicht zu. Und die Kontroverse, in der Kekulé recht hatte und Ladenburg unterlag, ist ein Artefakt. Kekulé selbst scheint die Cyclohexatrien-Formel nicht geliebt zu haben, vielleicht wegen ihrer Implikationen oder weil sie zu stark an seinen Konkurrenten Couper erinnerte. 1866 benutzte Kekulé in seinem Lehrbuch eine Notation, in der die vier Wertigkeiten des Kohlenstoffs durch ein gleicharmiges, rechtwinkliges ("griechisches") Kreuz

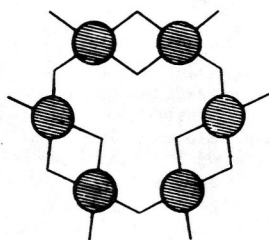


Abb. 14

wiedergegeben wurden, in dessen Zentrum der Kohlenstoff sitzt. Doppelbindungen konnten damit so wiedergegeben werden, daß sich je zwei benachbarte Bindungsstriche von zwei solchen Kreuzen an ihren Enden berührten; es resultieren also "gewinkelte Bindungen". Wenn Einfachbindungen in gleicher Weise gewinkelt wurden, ließ sich der Sechseck des Benzols schließen (Abb. 14) [25]. Dies ist Kekulé's komplette Hexagon-Benzol-Formel für seine Zeitgenossen jedenfalls; denn als sie 1903 in Bonn dem

großen Meister ein Denkmal setzten, war es nicht das Sechseck mit alternierenden Doppelbindungen, sondern diese Formel, nur mit gerade gebogenen Einfachbindungen, die die personifizierte Chemie, das Standbild der Wissenschaftsgöttin Athene im Rücken, den Arbeitern entgegenhält [26].

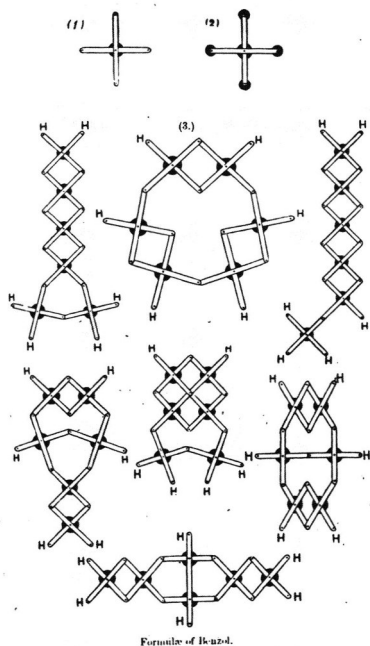
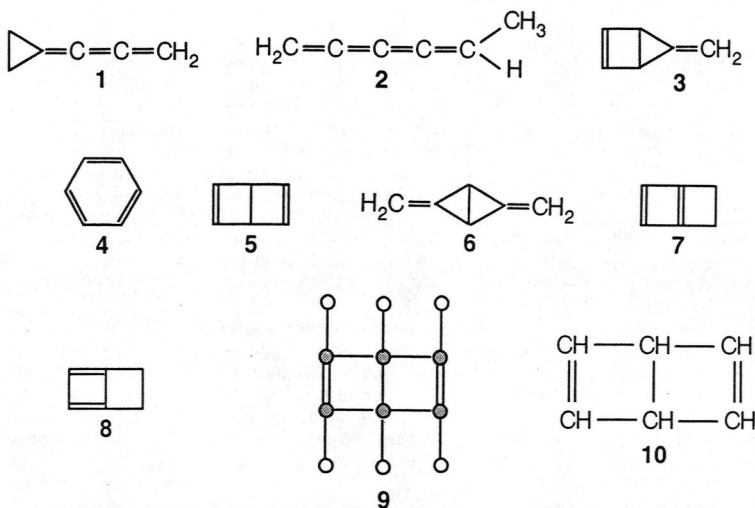


Abb. 15

hier erwähnte Dr. A. Crum Brown, der in derselben Sitzung ebenfalls vorgetragen hatte, war an der Entwicklung der Strukturtheorie und damit an der Valenzstrichformel maßgeblich beteiligt, und man mag eine gewisse Ironie darin sehen, daß die Benzolformel auf der deutschen Briefmarke von 1965 mit den Kreisen um die Elementsymbole aus Browns Formelsprache schöpft (zufällig oder nicht) und nicht aus der Kekulé's. Dewars sieben "Benzolformeln" entsprechen dem Cyclopropylyden-allen (1), dem Hexatetraen-(1,2,3,4) (2), dem 5-Methylen-bicyclo[2.1.0]pent-2-en (3), dem Cyclohexatrien-(1,3,5) (4), dem Bicyclo[2.2.0]hexadien-(2,5) (5), dem 2,4-Dimethylen-bicyclo[1.1.0]butan (6) und einem weiteren Bicyclo[2.2.0]hexadien; Dewars Formel vermag zwischen den Isomeren mit den Doppelbindungen $C^2=C^3$, $C^1=C^4$ (7) und $C^1=C^2$, $C^3=C^4$ (8) nicht zu differenzieren, ebenso wie ja auch Kekulé's "Wurstformeln" nicht immer eindeutig waren.

Als Valenzstrich-Formel findet sich das Bicyclo[2.2.0]hexadien(2,5), also das "Dewar-Benzol", zuerst bei Georg Städeler [28], und zwar 1868, also nach Dewars Vortrag, aber vor dessen Druck und überdies in

Während also Claus, Graebe und Ladenburg die Valenzstrichformeln der Notation Kekulé's vorzogen, hatte Kekulé in James Dewar einen Muster-schüler. Dewar stellte in einem erst 1869 gedruckten [27] Vortrag im Februar 1867, also vermutlich ganz frisch im Besitz des Lehrbuchs seines Meisters, Molekelmodelle vor, in denen die Wertigkeiten der Kekulé-Notation als schmale Messingstreifen erscheinen. Zu Demonstrationszwecken baute er sieben mögliche "Benzolformeln" auf (Abb. 15), ohne sich inhaltlich zum Problem zu äußern. Ohne Hinweis auf Kekulé's Urheberschaft (die seinen Zuhörern vermutlich bekannt war) findet sich dort auch die echte Kekulé-Formel und in dieser Notation auch die später sogenannte Dewar-Formel, freilich ohne jegliche Präferenz vor den anderen Formeln, eben weil es Dewar ja gar nicht darum ging, eine eigene Benzol-Formel zu propagieren. Dewar kommentierte seine Modelle: "... a simple mechanical arrangement adapted to illustrate structure in the non-saturated hydrocarbons. This little device is the mechanical representative of Dr. C. Brown's well-known graphic notation." Der



der Weise, daß Städeler tatsächlich diese Formel für das Benzol vorschlug, was Dewar, wie gesagt, gänzlich fernlag. Auf S. 106 seiner Arbeit finden wir für das Benzol die Formel 9. Städeler, ein Schüler von Wöhler in Göttingen, war Professor in Zürich. Für Kekulé war er schon früher einmal zum Stein des Anstoßes geworden. Wizinger-Aust sagte 1965 in seinem Bonner Festvortrag [13]:

Kurz nach seiner großen Entdeckung [das ist Kekulé's Londoner Vision der Strukturtheorie] bemühte sich Kekulé um die zur Bewerbung ausgeschriebene Professur für allgemeine Chemie am neugegründeten Eidgenössischen Polytechnikum in Zürich. Es wurde ihm jedoch der zehn Jahre ältere Extraordinarius GEORG STAEDELER (sic. mit -AE-) vorgezogen. Kekulé nahm sich diesen Mißerfolg sehr zu Herzen. Da er aber unbedingt die akademische Laufbahn einschlagen wollte, entschloß er sich nun als Privatdozent von unten anzufangen. Mit BUNSENS Einverständnis habilitierte er sich in Heidelberg und begann dort im Sommer-Semester 1856 seine akademische Lehrtätigkeit.

Karl Kraut, wie Städeler Schüler von Wöhler und später Professor an der Technischen Hochschule in Hannover, wo Städeler seine letzte Lebenszeit verbrachte und 1871 starb, schilderte in seinem Nekrolog auf Städeler [29] die Details etwas anders. Ladenburg ging, wie erwähnt, 1889 von Kiel nach Breslau, wo sein Amtsvorgänger Carl Löwig war. Löwig war nach Breslau von der Universität Zürich gekommen, und nach Kraut wurde Städeler 1853 als Löwigs Nachfolger auf den *Lehrstuhl* für allgemeine Chemie an der Universität Zürich berufen und erhielt

nach Gründung der ETH Zürich im März 1855 dort *zusätzlich* die Professur für *analytische* Chemie; einige Jahre später sei er dann nur noch an der ETH tätig gewesen. Wie immer dem sei, im *Chemischen Centralblatt* 1868, 523, ist Städelers an sich völlig eindeutige Notation in eine komplette Valenzstrichformel mit Elementensymbolen und allen Valenzstrichen übersetzt (mit "gestrichenen" C's als Ausdruck dafür, daß man für C das Atomgewicht 12 meinte, nicht mehr 6). Wenn nicht die Originalpublikation, dann mindestens das Centralblatt-Referat sollte Heinrich Wichelhaus bekannt gewesen sein. Als dieser aber 1869 die Formel 10 schrieb [11], zitierte er Städeler nicht. Die Anordnung mit rechten Winkeln wie bei Städeler ist aber umso auffällender, als Wichelhaus die Diagonalformel von Claus anders schreibt, nämlich als regelmäßiges Hexagon ohne Elementensymbole wie Claus, den er auch zitiert.

Noch im selben Jahr gibt dagegen Ladenburg Städeler die Ehre; er schreibt aber auch dessen Formel als regelmäßiges Hexagon ohne Elementensymbole. In dieser Schreibweise stammt also auch das "Dewar-Benzol" von Ladenburg. Dieser kommentierte "in seiner [das ist: Wichelhaus'] Formel, welche der nebenstehenden Formel entspricht...": *entspricht*, nicht ist! 1874 kam Ladenburg noch einmal auf diese Formel zurück [30], die von Städeler für das Benzol gegeben, aber nicht näher discutirt und begründet worden sei und auch höchstens vorübergehende Anerkennung gefunden habe (Zitat Wichelhaus) - zu Recht kein Wort von Dewar, während Ladenburg zur Prismenformel erneut sagt, sie sei "zuerst von Claus erwähnt und von mir als die unseren Ansichten am besten entsprechende vertheidigt" worden.

Im letzteren Sinne sind in der Folgezeit die Zuordnungen verstanden worden, aber gerade deswegen ist es abwegig, vom "Dewar-Benzol" zu reden. Kekulé akzeptierte schließlich die Valenzstrich-Schreibweise und betrachtete seither die Cyclohexatrien-Formel in allen Varianten als "seine Benzolformel", und niemand, auch Graebe und Ladenburg nicht, machte ihm das streitig. Claus behielt zu Recht die Diagonalformel, und seine "Prismenformel" [31] wurde zum "Ladenburg-Benzol", weil Ladenburg sie vertrat. Wie aber kam Dewar zu seiner ja im übrigen zweifelhaften Ehre? In einem schließlich nicht publizierten, aber erhaltenen Manuskript Kekulé's, das 1965 in einem Facsimile-Druck erschien [32], schrieb Kekulé 1883 die drei damals noch diskutierten Formeln in derselben Weise wie 17 Jahre zuvor Claus, also ohne die H's, und dazu:

No.1 fällt mit der s.g. Diagonalformel (No.3) zusammen; No.2 ist in der Form identisch mit der von Dewar vorgeschlagenen Formel (No.2); No.3 endlich hat ganz das Ansehen der von mir vorgeschlagenen s.g. Sechseckformel.

"Von mir vorgeschlagenen" - zuerst zu finden aber bei Claus. Und von Städeler kein Wort. Ähnlich drei Jahre später Adolf (von) Baeyer: Seine Arbeit "Ueber die Constitution des Benzols" [15] "führte die Ladenburgsche Prismenformel auf geistreiche Weise ad absurdum" [16],

freilich nur diese und nicht die Argumente, die Ladenburg veranlaßten, so zäh an ihr festzuhalten, weil nämlich auch die Cyclohexatrien-Formel den Erfahrungen nicht gerecht wurde, ein Aspekt, auf den Baeyer mit keinem Wort einging. Und bei Baeyer ist zu lesen:

Bei der Kekulé'schen Formel müßten die addirten Elemente an benachbarte, bei der von Claus [1] (= Theoret. Betrachtungen... 1867, S. 207) bevorzugten an gegenüberliegende, bei der Dewar'schen [2] einmal an gegenüberliegende und zweimal an benachbarte Kohlenstoffatome treten.

Als Quelle [2] ist nicht James Dewar zitiert, sondern ein heute schwer zugängliches Lehrbuch eines Herrn R. Meyer, Lehrbuch der organ. Chemie, S. 86. Ob der Irrtum schon von diesem stammt und Baeyer nur nicht Dewars Originalarbeit einsah, bedarf noch der Klärung; jedenfalls steht die Autorität von Kekulé und von Baeyer Pate, wenn Städelers Benzol bis heute "Dewar-Benzol" heißt. Immerhin sei vermerkt, daß Dewar selbst damals benzol und naphthalin (nicht benzene, naphthalene) sagte. Was ihm völlig fremd vorgekommen wäre, ist die moderne Bezeichnung *Phosphinin* für das Phosphoranalogon des Pyridins, also das Phosphabenzol. Die hiervon abgeleitete Wortschöpfung "Dewar-Phosphinin", die man im Januar 1987 in der 'Angewandten Chemie' lesen konnte [33], sei hier nur der Kuriosität halber erwähnt; um das Phosphabenzol hat es eine solche Diskussion ja nie gegeben, und Dewar war an der beim Benzol ohnehin nicht beteiligt.

Wir müssen also umlernen: Die "Kekulé-Formel" ist nicht von Kekulé; in ihrer aufs rein Geometrische abstrahierten Form ist sie von Ladenburg. Die "Ladenburg-Formel" ist von Claus und die "Dewar-Formel" von Städelers. Als aber 1890 die Deutsche Chemische Gesellschaft in Berlin im schönsten wilhelminischen Pomp ihr großes Benzolfest feierte [34] und damit August Kekulé ehrte, sagte dieser etwas sehr Treffendes, was nur eigentlich wenig zum bombastischen Stil der Feier paßte:

Wir alle stehen auf den Schultern unserer Vorgänger; ist es da auffallend, daß wir eine weitere Aussicht haben? Wenn wir auf den von ihnen gebahnten Wegen... mühelos zu Punkten gelangen, die jene mit Überwindung zahlreicher Schwierigkeiten, als die äußersten erreicht haben: ist es da ein besonderes Verdienst, wenn wir noch die Kraft besitzen, weiter wie sie in das Gebiet des Unbekannten vorzudringen? Gewiß, Ideen liegen zu gewissen Zeiten in der Luft; wenn der eine sie nicht ausspricht, tut es ein anderer. Man hat gesagt: die Benzoltheorie sei wie ein Meteor vom Himmel erschienen, sie sei absolut neu und unvermittelt gekommen. Meine Herren, so denkt der menschliche Geist nicht. Etwas absolut Neues ist noch niemals gedacht worden, sicher nicht in der Chemie... ich... kann versichern: keine Wissenschaft hat sich so stetig entwickelt, wie die Chemie [35].

Richard Anschütz hat in seinem Nekrolog Wilhelm Körners [36] die Atmosphäre im Genter Labor so beschrieben: "Der Verkehr der Assisten-

ten und älteren Studierenden im Genter Laboratorium untereinander und mit Kekulé war kollegialisch und ungezwungen, wie es Kekulé's heiterer, überlegener Art entsprach." Kekulé also steigt herab vom Sockel seines Denkmals und wird ganz menschlich. Das Durcheinander bei den Formeln aber ging weiter: Wilhelm Körner, ebenfalls aus Kekulé's Genter Post-Doc-Gruppe, klärte in glänzenden Arbeiten die Reihenzugehörigkeiten der disubstituierten Benzole und bezeichnete, noch bevor er herausbekam, was 1,2-, 1,3- und 1,4-substituiert war, diese Reihen als ortho, meta und para: ortho für die Hydrochinon-Reihe, meta für die Brenzcatechin-Reihe und para für die Resorcin-Reihe. Man weiß, was Leute daraus gemacht haben, denen es nicht zustand, in seine Urheberrechte einzugreifen. Lernen wir also weiter um: ortho ist nicht ortho, sondern para, para ist meta, und meta ist ortho - oder, wie Goethe es ausdrückte:

Du mußt verstehen! / Aus Eins mach Zehn, / Und Zwei laß gehn, /
Und Drei mach' gleich, / So bist Du reich. / Verlier' die Vier! /
Aus Fünf und Sechs, / So sagt die Hex', / Mach' Sieben und Acht, /
So ist's vollbracht: / Und Neun ist Eins, / Und Zehn ist keins. /
Das ist das Hexen-Einmalcins! [37].

Die Diskussion um die "richtige" Benzolformel hat eine Parallele in der um das nichtklassische Carbonium-Ion. In beiden Fällen geriet in Vergessenheit, daß es sich nicht um Fakten, sondern um Beschreibungsformen, um Modelle handelt. Ladenburgs Bedenken gegen die "Kekulé-Formel" wurden ebensowenig ausgeräumt wie H.C. Browns Argumente gegen Winsteins Konzept. Dennoch entschied sich die "chemische Volksmeinung" gegen sie. Winstein aber starb, und Brown bekam den Nobelpreis - für etwas anderes. Ladenburg hatte in seiner Zeit ähnliche Verdienste: 1824 hatte der junge Apotheker Ludwig Giseke in Halle das Schierlinggift Coniin isoliert; Giseke wurde dafür 1863 Ehrendoktor der Universität Halle. Etwa 60 Jahre nach der Isolierung klärte August Wilhelm Hofmann die Struktur auf. Schon kurz darauf hatte es Ladenburg in Kiel synthetisiert. Ladenburg resümierte [38]: "Hier darf ich noch darauf hinweisen, dass durch diese Untersuchungen die erste vollständige Synthese eines Alkaloids realisirt ist". Was aber die Benzolformel angeht: Eine so freimütige Diskussion ohne Ansehen der Person, wie sie in jenen vielgeschmähten kaiserlichen Zeiten geführt wurde, erscheint heutzutage unmöglich.

1. Kekulé und seine Benzolformel. Vier Vorträge von R. Wizinger-Aust, J.B. Gillis, B. Helferich, C. Wurster. Mit einem Geleitwort von Richard Kuhn. Verlag Chemie, Weinheim 1966.
2. A.H. Schmidt, "Valenzisomere des Benzols", *Chem. Unserer Zeit* 11 (1977) 118.

3. A. Kekulé, *Bull. Soc. chim. Fr.* [2] 3 (1865) 98.
4. A. Kekulé, "Untersuchungen über aromatische Verbindungen", *Liebigs Ann. Chem. Pharm.* 137 (1866) 129-196.
5. A. Kekulé, *Bull. Acad. Royale Belgique* [2] 19 (1865) 551.
6. J.B. Gillis, "Leben und Wirken von Kekulé in Gent", loc.cit., [1], 33-54.
7. W. Herz, "Albert Ladenburg", *Ber. dtsh. chem. Ges.* 45 (1912) 3598.
8. A. Ladenburg *2.7.1842. Das Manuskript ist undatiert, aber die vorstehende Arbeit von A. Horstmann hat den Vermerk "im April 1869", und S. 160 folgt eine Correspondenz von Friedel, Paris, vom 15.4.1869.
9. A. Ladenburg, "Bemerkungen zur aromatischen Theorie", *Ber. dtsh. chem. Ges.* 2 (1869) 140-142.
10. Vgl. G.E. Hein, Kekulé and the Architecture of Molecules, in: O.Th. Benfey (Herausgeber), Kekulé Centennial (Advances in Chemistry 61), Amer. Chem. Soc., Washington D.C. 1966, 1-12, S.4-5: "It is absolutely impossible to appreciate Ladenburg's position unless we realize that he was treating structural theory as a purely formal system with no implications concerning the relative positions of atoms in space."
11. H. Wichelhaus, "Die Hypothesen über die Constitution des Benzols", *Ber. dtsh. chem. Ges.* 2 (1869) 197.
12. A. Ladenburg, "Ueber Benzolformeln", *Ber. dtsh. chem. Ges.* 2 (1869) 272.
13. R. Wizinger-Aust, August Kekulé, Leben und Werk. Erkenntnisse und Probleme um eine chemische Vision, loc.cit. [1], S. 7-32, Abb. 6. -S. 32 gibt Wizinger-Aust eine von der unsrigen abweichende Interpretation der Benzol-Formel auf dem Bonner Kekulé-Denkmal.
14. A. Ladenburg, "Zur Constitution des Benzols", *Liebigs Ann. Chem. Pharm.* 172 (1874) 331, S.353.
15. A. Baeyer, "Ueber die Constitution des Benzols", *Ber. dtsh. chem. Ges.* 19 (1886) 1797, S. 1802.
16. R. Huisgen, "Adolf von Baeyers wissenschaftliches Werk - ein Vermächtnis" *Angew. Chem.* 98 (1986) 297.
17. Sitzung [der Dt. Chem. Ges.] vom 14. Mai 1900, *Ber. dtsh. chem. Ges.* 33 (1900) 1421.
18. C. Graebe, "Ueber die s.g. Additionsproducte der aromatischen Verbindungen", *Liebigs Ann. Chem. Pharm.* 146 (1868) 66.
19. z.B. A. Ladenburg, loc.cit. [14], S. 351, 356 "Gräbe", S. 354 "Graebe", C. Gräbe z.B. auch bei B. Lepsius, Vorwort zu loc.cit. [35].
20. Zwischen ihnen kurzfristig Theodor Curtius, Ladenburgs Nachfolger in Kiel.
21. loc.cit. [4], S. 134, Anm.**.
22. V. Meyer, "Untersuchungen über die Constitution der zweifach-substituierten Benzole", *Liebigs Ann. Chem. Pharm.* 156 (1870) 265.
23. A. Kekulé, "Ueber einige Condensationsproducte des Aldehyds", *Liebigs Ann. Chem. Pharm.* 162 (1872) 77.
24. Ausnahme: loc.cit. [10].

25. A. Kekulé, Lehrbuch der Organischen Chemie, 2, Erlangen 1866, S. 496.
26. O. Th. Benfey, loc.cit. [10], Abb. S. 194.
27. J. Dewar, "On the Oxidation of Phenyl Alcohol, and a Mechanical Arrangement adapted to illustrate Structure in the Nonsaturated Hydrocarbons", *Proc. Royal Soc. Edinburgh* 6, November 1866 to May 1869 (1869) 82-86, Sitzung am 4.2.1867.
28. G. Städeler, "Vorläufige Notiz über den Anisaldehyd", *J. prakt. Chem.* 103 (1868) 105.
29. K. Kraut, "Nekrolog auf Georg Städeler", *Ber. dtsch. chem. Ges.* 4 (1871) 425.
30. A. Ladenburg, loc.cit. [14] S. 332; vgl. derselbe, *ibid.* 179 (1875) 163 (also 11 Jahre vor Baeyer [15]), S. 175-176 "Und darin finde ich nun ein ernstes Bedenken gegen die Prismaformel für das Benzol. Natürlich werden hierdurch die Mängel, die ich an der Sechseckformel gefunden habe (Ann. 172, 331), nicht verringert und ich bin daher der Ansicht, daß wir einstweilen keine symbolische Darstellung für das Benzol besitzen, die allen Anforderungen genügt."
31. Der Ausdruck "Prismenformel" ist bei Claus und zunächst auch bei Ladenburg eigentlich nicht angebracht, weil die Formel keine räumlichen Vorstellungen enthielt, also eben nicht als ein Prisma verstanden wurde.
32. A. Kekulé, Cassirte Kapitel aus der Abhandlung: Ueber die Carboxy-tartronsäure und die Constitution des Benzols, Verlag Chemie, Weinheim 1965 (mit einem Vorwort von Richard Kuhn).
33. K. Blatter, W. Rösch, U.-J. Vogelbacher, J. Fink und M. Regitz, "Isomerisierungsreaktionen im System Dewar-Phosphinin/Phosphaprisman/Phosphabenzvalen/Phosphinin", *Angew. Chem.* 99 (1987) 67; vgl. J. Fink, W. Rösch, U.-J. Vogelbacher und M. Regitz, 2-Dewar-Phosphinine - eine neue Verbindungsklasse mit zweifach koordiniertem Phosphor, *ibid.* 98 (1986) 265. "Phosphinin" bezeichnet keine Substanz, sondern eine Formel; der Bezeichnung "Dewar-Phosphinin" entspräche "Dewar-Cyclohexatrien" für das Bicyclo[2.2.0]hexadien-(2,5).
34. "Zu den Sternstunden der Deutschen Chemischen Gesellschaft gehörte das Benzolfest, das 1890 zu Ehren von August Kekulé gefeiert wurde" (R. Huisgen, loc.cit. [16], S. 304). Zum Stil der Feier gehörte, daß man selbst mit den Namen derer prunkte, die die Einladung ausgeschlagen hatten: G. Schultz, *Ber. dtsch. chem. Ges.* 23 (1890) 1265, S. 1267-1268: "Viele hatten mit Bedauern mitgeteilt, dass sie am Erscheinen verhindert seien, wie Se. Excellenz der Hr. Minister v. Berlepsch, der Geh. Cabinetsrath und Wirkl. Geh. Rath von Lucanus, der Unterstaatssecretär Dr. Bosse, der Rector der Universität Berlin Geh. Justizrath Professor Hinschius, General-lieutenant v. Lattré, Oberbürgermeister v. Forckenbeck, Geh. Ob.-Reg.-Rath Althoff, Geh. Rath v. Helmholtz, Kundt, Weierstrass u. A.", und A.W. von Hofmanns Eröffnungsansprache: "Allerdings bedauert der Vorstand, dass seinen Einladungen zur Betheiligung am heutigen Feste nicht immer hat Folge gegeben werden können. Er beklagt zumal, dass S.M. der Kaiser nicht im Stande gewesen ist,

der Sitzung beizuwohnen... (S. 1268) Auch seitens der Grosswürden-
träger des Reiches sind uns leider verschiedene Absagen gewor-
den..."

35. B. Lepsius, "Festschrift zur Feier des 50jährigen Bestehens der
Deutschen Chemischen Gesellschaft und des 100. Geburtstages ihres
Begründers August Wilhelm von Hofmann", *Ber. dtsh. chem. Ges.* 51
(1918), Sonderheft, S. 42.
36. R. Anschütz, "Wilhelm Körner. Ein Gedenkblatt." *Ber. dtsh. chem.
Ges.* 59 (1926) 75.
37. J.W. (von) Goethe, Faust. Der Tragödie erster Teil, Szene Hexen-
küche: Die Hexe.
38. A. Ladenburg, "Synthese der activen Coniine", *Ber. dtsh. chem.
Ges.* 19 (1886) 2578.