

SCHRIFTEN DER RHEINISCH-WESTFÄLISCHEN
TECHNISCHEN HOCHSCHULE
AACHEN

Heft 9

**Vom Suchen und Finden
neuer Ergebnisse der Chemie**

**Akademischer Festvortrag,
gehalten bei der Übernahme des Rektorats
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
am 10. November 1961**

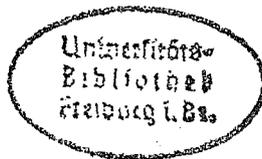
von

Professor Dr. Martin Schmeisser

ordentlicher Professor der Anorganischen Chemie und Elektrochemie

GIRARDET

1164 T 314



Bestellnummer 0118

Alle Rechte vorbehalten, auch die des Nachdrucks von Auszügen, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung

Druck: Verlag W. Girardet, Essen · Printed in Germany · 1963

Ausgangspunkte meiner Ausführungen seien zwei Vorträge, die meine akademischen Lehrer *Robert Schwarz* und *Egon Wiberg* zu verschiedenen Zeiten und von verschiedener Sicht her über das Thema „*Vom Stein der Weisen*“ gehalten haben. Aufbauen möchte ich auch auf dem, was mein Amtsvorgänger, Herr Prorektor *Winterhager*, vor zwei Jahren an dieser Stelle „*De re metallica*“ gesagt hat, wobei ich der „*res metallica*“ insofern die „*res nonmetallica*“ gegenüberstellen möchte, als tatsächlich in weitem Umfang von meinem engeren Fachgebiet, der Welt der Nichtmetalle, die Rede sein soll.

Bisweilen halten wir heute Rückschau auf die „gute alte Zeit“ vor etwa 100 oder 150 Jahren, in der es genügte, einige Substanzen wahllos zusammen zu geben, um mit ziemlicher Sicherheit neue, bisher unbekannte Produkte zu erhalten. Andererseits fragen wir uns auch, welche Ergebnisse hätten erzielt werden können, wenn den damaligen Forschern schon die uns heute völlig geläufigen z. T. recht kostspieligen Methoden der Kernresonanz, der Chromatographie in ihren verschiedenen Formen und der Infrarotspektroskopie zur Verfügung gestanden hätten. Es will scheinen, als hätten wir es hier mit zwei verschiedenen Welten zu tun – und doch sind die Prinzipien des Suchens und Findens neuer Ergebnisse, wenn auch in verändertem Rahmen, letztlich gleich geblieben.

Film und Fernsehspiel zeigen uns zu diesem Thema das Schema des von einem Plane wild besessenen Forschers: Nacht- szenen mit dem bereits zu Tode Erschöpften an geheimnisvollen Apparaturen sollen uns den Eindruck der Beharrlichkeit in der Erreichung eines – selbstverständlich immer klar gesehenen und eisern festgesteckten – Ziels vermitteln, die

keine Unterbrechung duldet und die den Körper und schließlich die Materie überwindet. Man erlebt auch dieses mit: Wiederholtes Augenreiben und das Sich-Vergewissern des plötzlich wieder Quicklebendigen spiegeln ungläubiges Erstaunen über etwas noch nicht Dagewesenes wieder, das — man weiß es gleich — dennoch nur den Sieg bedeutet —, an dem zu zweifeln übrigens auch niemand nur eingefallen wäre.

Die Antwort auf die Frage „Ist es so?“, soll die Disposition dieses Vortrages sein.

Ich beginne mit den Alchimisten, die nach einer vereinfachenden Definition in der Chemie das taten, was die Schulweisheit für unmöglich hielt. Viele der Alchimisten waren *Entdecker wider Willen*, deren Arbeitsweise schon *Glauber* im Jahre 1658 folgendermaßen so charakterisiert hat: „So kommen die meisten Geheimnisse ohne langes Suchen an den Tag, indem etwas mißlingt, was man zu machen versucht und durch Zufall etwas anderes, Besseres oder Schlechteres daraus wird.“

Der Mönch *Berthold Schwarz* beispielsweise hatte nichts anderes im Sinn, als die Lehre des Aristoteles nachzuprüfen, wonach sich ein Stoff heißer Natur nicht mit einem Stoff kalter Natur vertragen sollte. Repräsentant eines Stoffs „heißer Natur“ war zu *Schwarz'* Zeiten der Schwefel, Repräsentant eines Stoffs „kalter Natur“ der Salpeter. Zufällig tat Schwarz zur Mischung dieser Stoffe noch etwas Kohle hinzu, und ebenso zufällig fiel ein Funke in die Masse. Das Ergebnis war eine Explosion und damit die Geburt des Schießpulvers.

Im Bestreben, den Stein der Weisen zu finden, hatte der Hamburger *Brand* 1669 Harn bis zum Verkohlen erhitzt und dabei den Phosphor gefunden.

Sehr viel später, im Jahre 1856, setzte sich der 18jährige *William Perkin* ein recht hohes Ziel: Er wollte Chinin künstlich herstellen. Als Ausgangspunkt wählte er das aus dem Steinkohlenteer erhältliche rohe Anilin — über das später noch

zu sprechen sein wird — und gab ein wenig Kaliumdichromat hinzu. Chinin hat er auf diese Weise nicht erhalten, wohl aber erhielt er eine Lösung, die einen hineingetauchten Stofflappen in herrlicher Weise violett färbte. Der Farbstoff Mauvein war gefunden und die Farbenchemie damit begründet. Perkins berühmter Lehrer *A. W. Hofmann* war alles andere als begeistert von diesem Zufallsfund. Er riet seinem Schüler, lieber der strengen Wissenschaft zu dienen, als relativ planlos Experimente zu machen. Er selbst hat dann auch die exakten wissenschaftlichen Grundlagen zur Farbenchemie gelegt.

Wenn wir bisher von den „Entdeckern wider Willen“ sprachen, die zwar experimentierten, aber dabei eine andere Zielsetzung hatten, so mag nun von der Rolle des *reinen Zufalls* die Rede sein, der oft für das Auffinden gänzlich neuer Erkenntnisse oder aber für die endgültige Durchführung sorgfältig geplanter Versuche von Bedeutung gewesen ist.

Die Physik liefert uns das Beispiel von der Entdeckung der Röntgenstrahlen und von der Auffindung der Radioaktivität durch *Becquerel*, die Biologie von der Auffindung des Penicillins.

Oft ist der reine Zufall dem planmäßig suchenden Forscher in ausweglos erscheinender Situation zu Hilfe gekommen. Gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts war das Ringen um die Darstellung des künstlichen Indigos, des Königs der Farbstoffe, eine Aufgabe gewaltigen Ausmaßes. Schließlich wußte man, daß der wohl wirtschaftlich beste Weg seinen Ausgang vom Naphtalin nehmen mußte, welches mit Schwefelsäure in einer ersten Stufe zur Phtalsäure oxydiert wurde. Diesen Reaktionsschritt untersuchte 1890 der bei der Badischen Anilin- und Sodafabrik in Ludwigshafen beschäftigte Chemiker *Sapper*. In immer neuen Ansätzen hatte er die Ausgangsmaterialien im Autoklaven zusammengegeben und stets unbefriedigende Ausbeuten erhalten. Eines Tages war wider alles Erwarten die Ausbeute fast quantitativ. Was war geschehen? Die einzige Veränderung gegenüber den vorhergehenden Versuchen war darin zu sehen, daß ein im Autoklaven befindliches Thermometer zer-

brochen war. Die planmäßige Untersuchung ergab, daß das aus dem Thermometer ausgeflossene Quecksilber mit der anwesenden Schwefelsäure Quecksilbersulfat gebildet hatte. Dieses aber vermochte — was bis dahin unbekannt war — als Katalysator die quantitative Oxydation des Naphtalins zu bewirken.

Vom Jahre 1901 ab hat sich der Chemiker *Alfred Wilm* heftig bemüht, die Zugfestigkeit des Aluminiums durch Beimischung von Kupfer und Magnesium zu erhöhen. Er stellte seine Proben in verschiedensten Mengenverhältnissen her, erhitze sie zur Schmelze, schreckte sie ab und unterwarf sie gleich anschließend der Messung der Zugfestigkeit. Die Legierung erwies sich zwar besser als das reine Aluminium; durchschlagend war der Erfolg allerdings trotz der aufgewandten Mühe nicht. Der Zufall wollte es, daß der so gewissenhafte Wilm an einem Wochenende seine Proben zwar ordnungsmäßig hergestellt und abgeschreckt hatte, daß er aber die Messung nicht mehr hatte vornehmen können. Dies hatte er auf den kommenden Montag verschoben. Als er dann aber die Proben vermaß, konnte er feststellen, daß die Festigkeit wesentlich höher lag, als bei allen anderen bisherigen Proben. Das planmäßige Verfolgen dieses Zufallsergebnisses zeigte dann, daß die Legierung, Duraluminium genannt, nach ihrer Herstellung einige Tage des Ausreifens zur Erzielung ihrer bestmöglichen Eigenschaften benötigte: Die selbsttätig aushärtbaren Legierungen waren damit entdeckt.

Nach all dem mag es so aussehen, als ob viele wesentliche Entdeckungen nur auf Zufall oder Glück zurückgeführt werden können. Die Geschichte der Wissenschaft lehrt aber, wie die Beispiele zeigen, daß bei jeder Entdeckung Verdienst und Glück sich in eigenartiger Weise verknüpfen. Zufall und Glück sind — mit anderen Worten ausgedrückt — nur dem unermüdetlich Tätigen hold, dem, der durch erhöhte Anstrengung schon ohnedies an den Rand der Entdeckung gelangt ist.

Wie aber steht es mit der Rolle, die *Inspiration* und *Phantasie* bei chemischen Entdeckungen spielen? Der „schöpferische

Einfall“ kann in gewissem Sinn ebenfalls zu den glückhaften Gegebenheiten im Leben eines Forschers gerechnet werden. Analog dem Vorhergesagten gilt auch hier: „Inspiration ist ein Geist, der ungern Faule besucht“, wie es *Tschaikowsky* ausgedrückt hat.

Viele schöpferische Menschen haben geschildert, wie sie zu ihren Leistungen kamen; so mein Lieblingskomponist *Mozart*: „Wenn ich recht für mich bin und guter Dinge, etwa auf Reisen, im Wagen oder nach guter Mahlzeit und in der Nacht, wenn ich nicht schlafen kann, kommen mir die Gedanken stromweise und am besten.“

Über den Physiker *Wilhelm Wien* schreibt diesbezüglich sein Kollege *Rüchardt*: „Er besaß eine Eigenschaft, welche für alle großen Naturforscher charakteristisch ist, jene uns rätselhafte seherische Begabung, welche die Zusammenhänge kennt, ehe sie bewiesen sind. Oft haben wir uns über die Sicherheit gewundert, mit der er eine bestimmte Meinung in einer noch ungeklärten wissenschaftlichen Frage vertrat. Das Experiment zeigte später, daß er recht hatte. Auch seine berühmten strahlentheoretischen Arbeiten verraten seine divinatorische Begabung; so ist sein Strahlungsgesetz mehr erraten als begründet.“

Im Bereich der Chemie stellt sich der schöpferische Einfall wohl ein wenig anders dar, weil die Vorstöße ins Neuland dieser substanzgebundenen Wissenschaft auf Grund harten Ringens mit der Substanz erarbeitet werden müssen. Zwei Beispiele lassen sich für die besondere Art des die chemische Wissenschaft weiterführenden Einfalls geben – zwei Beispiele, in denen dem Betreffenden die Erleuchtung im *Traum* kam.

Lange hatte sich der 26jährige Züricher Anorganiker *Alfred Werner* Gedanken um die Struktur der „Koordinations“- oder „Komplex“-Verbindungen gemacht, die mit den herkömmlichen Theorien nicht erklärt werden konnten. Eines Morgens schreckte er um zwei Uhr aus dem Schlaf auf, blitzartig kam ihm die Erleuchtung; die in seinem Gehirn schon lange gesuch-

te Lösung hatte sich eingestellt. Er erhob sich sofort von seinem Lager und brachte seine Gedanken zu Papier. Abends um fünf Uhr war die Koordinationslehre in ihrem wesentlichen Teil abgeschlossen. 20 Jahre lang hat er dann in intensivster Arbeit eine große Anzahl neuer Komplexverbindungen auf Grund seiner Lehre hergestellt.

Bis zum Jahre 1853 war nicht bekannt, warum Verbindungen des Kohlenstoffs, die nach Art und Zahl aus denselben Bausteinen bestehen, gänzlich verschiedene Eigenschaften aufweisen. Harte experimentelle Arbeit und das Aufbieten aller Phantasie schienen zu versagen. Die Situation änderte sich, als sich der ehemalige Architekturstudent und 24jährige Schüler Liebigs, *August Kékulé*, mit dieser Frage beschäftigte. Eines Tages fuhr er auf dem Dach eines Omnibusses durch das Londoner Häusermeer. Er versank in Träumerei und sah plötzlich vor seinem geistigen Auge die Kohlenstoffatome sich zu Pärchen vereinigen: drei, vier und mehr tanzten in Reihen. Alles drehte sich in Wirbeln und Reigen. Als der Schaffner die Endstation ausrief, wachte er auf und machte sich noch in der Nacht Skizzen seines Traumbildes. Die Atome sah er — das war das Wesentliche — zu räumlichen Gebilden zusammengefügt: die Strukturformeln organischer Verbindungen waren geschaffen, die Valenztheorie war geboren. Es hat allerdings noch Jahre harter Arbeit bedurft, bis *Kékulé* mit seinen Theorien vor die Öffentlichkeit trat.

Noch war aber völlig unklar, wie man sich das Verhalten einer ganz besonderen Kohlenstoffverbindung, des Benzols, erklären sollte. 1865 wurde — ebenfalls von *Kékulé* — auch dieses Problem, das ihn lange beschäftigt hatte, durch eine Traumvision der Lösung zugeführt.

Er war in dieser Zeit in Gent und schrieb an einem Lehrbuch. Es ging — nach seinen Worten — nicht recht, sein Geist war bei anderen Dingen. Er drehte den Stuhl zum Kamin und versank in Halbschlaf. Wieder gaukelten die Atome vor seinen Augen. Lange Reihen waren zusammengefügt, alles in Bewegung, schlangenartig sich windend und drehend; und siehe

da, was war das? Eine der Schlangen erfaßte den eigenen Schwanz, und höhnisch wirbelte das Gebilde vor seinen Augen. Wie durch einen Blitzstrahl erwachte er und verbrachte den Rest der Nacht, um die Konsequenz der Hypothese auszuarbeiten, jener Hypothese, die der noch heute gültigen ringförmigen Anordnung der Kohlenstoffatome im Benzolmolekül zugrunde liegt.

Die „*Vision*“ erscheint so einfach und naheliegend. Das Bild mag wohl auch ein wenig zu der von mir eingangs geschilderten Film- oder Fernsehauffassung chemischer Entdeckungen passen. Aber *Kékulé* selbst hat bei einem Fest zu Ehren seiner Theorie den zutreffenden Sachverhalt aufgedeckt: „Lernen wir träumen, meine Herren, dann finden wir vielleicht die Wahrheit, aber hüten wir uns, unsere Träume zu veröffentlichen, ohne sie durch den wachen Verstand geprüft zu haben.“

Es gilt nun, diejenigen Ergebnisse zu beleuchten, die durch *planmäßiges Einschalten des Verstandes ohne das Hinzukommen von visionärer Schau oder Traumgebilden* gewonnen wurden.

J. B. Conant hat hierzu in „Taktik und Strategie der Wissenschaften“ folgendes gesagt: „Neue Begriffe ergeben sich aus Versuchen oder Beobachtungen und führen zu neuen Versuchen und Beobachtungen. Bedeutsame Beobachtungen sind das Ergebnis quantitativer Versuche oder von Beobachtungen. Man darf die rein experimentellen Schwierigkeiten nicht außer Betracht lassen. Neue Techniken ergeben sich aus den Versuchen und beeinflussen weitere Versuche.“

Das Musterbeispiel für dieses wohl für die meisten Entdeckungen maßgebliche Vorgehen, nämlich für die exakte und unvoreingenommene Forschung, ist die Auffindung der Edelgase. *Cavendish* ließ im Jahre 1785 durch ein über Seifenlauge abgesperrtes Gemisch von Luft und Sauerstoff elektrische Funken schlagen. Das Gasvolumen nahm dauernd ab, und nach Entfernen des überschüssigen Sauerstoffs blieb eine winzige Gasblase zurück, deren Volumen *Cavendish* zu

$\frac{1}{120}$ der angewandten Luftmenge schätzte. Mehr vermochte er über diesen Versuch nicht auszusagen.

Erst ein Jahrhundert später, 1894, fiel es Lord *Rayleigh* auf, daß der aus Luft isolierte „Stickstoff“ eine größere Dichte besaß, als der aus Stickstoffverbindungen gewonnene. In der atmosphärischen Luft mußte demnach neben Stickstoff noch ein anderes Gas enthalten sein, welches schwerer war als dieses. Dem Engländer *Ramsay* gelang es dann alsbald — auch durch Wiederholung des *Cavendish'schen* Versuchs — mit *Rayleigh* zusammen, das Argon als erstes Edelgas zu entdecken, dem nach kurzer Zeit die übrigen Edelgase folgten.

Planmäßig wurde viele Jahre lang von zahlreichen Forschern nach einer Synthese von Ammoniak aus Wasserstoff und dem aus der Luft zu gewinnenden Stickstoff gesucht, weil man sich darüber klar war, daß diese für Düngemittel gebrauchte, daher für die Zivilisation lebenswichtige Substanz zur Abweiserung einer — auf lange Sicht gesehen — unvermeidbaren Welt Hungersnot notwendig war. *Friedrich der Große* hatte bereits — ohne an die Ammoniaksynthese zu denken — seinen Zeitgenossen zugerufen: „Wenn es gelingt, da wo jetzt ein Halm wächst, künftig zwei Halme wachsen zu lassen, so bedeutet das mehr als eine gewonnene Schlacht. Tief resigniert hatte man nach etwa 100jähriger heißester Forschung die Möglichkeit, auf diesem Wege Ammoniak darstellen zu können, zu Grabe getragen. Im Jahre 1906 begann der Karlsruher Physikochemiker *Fritz Haber* dennoch, auf diesem Gebiet zu arbeiten, indem er intensivst den Einfluß von Temperatur, Druck und geeigneten Katalysatoren studierte. Letztlich hatte er Erfolg. Er selbst sagte darüber aber: „Die Herstellung der Verbindung Ammoniak aus den Elementen war wohl gelungen und die Bedingungen im großen Stil physikalisch gekennzeichnet. Aber diese Bedingungen schienen so ungünstig, daß sie von einer Vertiefung des Gegenstands abschreckten.“ Die Badische Anilin- und Sodafabrik nahm sich trotzdem der Arbeiten an, und in gemeinsamem Wirken mit *Alwin Mittasch*, der die geeigneten Katalysatoren entwickelte, und *Karl Bosch*, der die technischen Voraussetzungen für die Gewinnung im großen

Maßstab schaffte, wurde schließlich in den Jahren 1910 bis 1917 nach etwa 20 000 Versuchen die große Schlacht um die Bewältigung der Natur durch künstliche Mittel gewonnen. (Am 9. September 1913 konnte das Ammoniakwerk Oppau eröffnet werden.)

Auch hier spielte schließlich der Zufall noch mit hinein, wie aus einem Briefe *Habers* an die Badische Anilin- und Sodafabrik im Jahre 1910 hervorgeht: „Es ist doch merkwürdig, wie in den Dingen immer neue Besonderheiten sich zeigen. Also das (als Katalysator verwendete) Eisen, mit dem *Ostwald* zuerst gearbeitet hat, das wir dann hundertfältig in reinem Zustand probiert haben, wirkt nur in unreinem Zustand! Ich erkenne wieder, wie man doch jeder Spur bis zu Ende folgen soll. Der Versuch mit Mangan, den ich mit *Le Rossignol* beschrieben habe und in dem das Mangan so glänzend wirkte, ohne daß es je gelang, diese Wirksamkeit wieder zu erreichen, versteht sich ja nun leicht.“

Interessant ist auf dem Gebiet „*systematischer Forschung*“ jene besondere Art, die die *Systematik an sich* zum Gegenstand hat. Unabhängig voneinander wurde von dem Deutschen *Lothar Meyer* und dem Russen *Mendelejeff* zwischen 1868 und 1870 — in dem Bestreben, Ordnung in die Vielfalt der damals bekannten 70 chemischen Elemente zu bringen und deren Eigenschaften für den Studenten leicht faßlich systematisiert darzustellen — das Periodensystem der Elemente entworfen. Nur am Rande mag erwähnt sein, daß dem genialen *Mendelejeff* die letzte Erleuchtung nach langem Herumprobieren und Zusammenlegen von Kärtchen auch wieder im Schlaf gekommen ist.

Das System hatte noch viele Lücken, die aber *Mendelejeff* in spekulativer Kühnheit — *Walden* spricht sogar von der „Dreistigkeit des Gedankens“ — durch Vorhersagen neuer, bisher unbekannter Elemente unter Angabe ihrer vermutlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften deutete.

Die ganze Tragweite der ungemein genialen — auf strenger Systematik beruhenden — Aussage *Mendelejeffs* zeigte sich wenige Jahre später, als *Clemens Winkler* tatsächlich in einem

Freiberger Silbererz auf Grund eines ständigen Fehlbetrags in seinen Analysenwerten ein bisher nicht bekanntes Element, das Germanium, entdeckte, das in frappierender Weise die von *Mendelejeff* vorausgesagten Eigenschaften aufwies. Nun war der Bann auch der skeptischsten Zeitgenossen, die ein derartiges Systematisieren für unfruchtbar ansahen, gebrochen, und eine neue Elemententdeckung folgte der anderen. *Clemens Winkler* selbst schreibt darüber: „Die Entdeckung des Germaniums gemahnt an die des Planeten Neptun. Wie hier war es keine durch günstige Umstände oder glücklichen Zufall herbeigeführte Wahrnehmung, welche den neuen Körper entschleierte, sondern er mußte, nachdem einmal die erste Andeutung für seine Existenz gewonnen war, mit aller Beharrlichkeit gesucht werden.“

Dem Sucher neuer Ergebnisse wird oft überraschend ein Tor aufgestoßen, wenn er mit wachen Sinnen verfolgt, was in den *Nachbardisziplinen* vor sich geht. Wo stünde die heutige chemische Forschung, wenn sie sich nicht der Entdeckung *Röntgens* bedient hätte! Zwiefach war der Segen, den diese Entdeckung der Chemie bescherte: Einmal war es die kongeniale Tat *von Laues*, der die den Röntgenstrahlen in ihren Gitterabständen adaequaten Salzkristalle zu Beugungen heranzog, womit er der Chemie die Möglichkeit gab, in größtem und immer noch steigendem Ausmaß Strukturbestimmungen durchzuführen. Zum anderen hat *Moseley* dadurch, daß er die Röntgenstrahlen an den verschiedensten Anti-Kathodenmaterialien – letztlich an sämtlichen bekannten Elementen – erzeugte, das nach ihm benannte Gesetz der linearen Abhängigkeit der Quadratwurzeln aus den Schwingungszahlen der einzelnen Röntgenlinien von der Ordnungszahl gefunden und es so ermöglicht, alle Elemente in eindeutigster Weise zu identifizieren. Ohne diese Methodik wäre z. B. die Chemie der 11 sich an das Uran anschließenden Elemente, die erst im oder nach dem Zweiten Weltkrieg künstlich von Menschenhand geschaffen wurden, nicht oder nur mit weit geringerer Exaktheit studierbar gewesen.

Zwiefach ist auch die Beziehung zwischen dem soeben geschilderten Sachverhalt und der Frage „Chemische Wissen-

schaft und Krieg". Kriege pflegten die reine Wissenschaft bisher nicht eben sehr zu fördern — Arme und Hände des Wissenschaftlers wurden, wenngleich in der großen Masse Gleichgearteter schon fast verschwindend, zu solchen Zeiten meist viel höher eingeschätzt, als der Inhalt seiner Schädelkapsel.

Im Ersten Weltkrieg war aber der Tod *Moseleys* bei den Kämpfen an den Dardanellen das Alarmsignal für die Engländer, mit ihren besten Köpfen sorgfältiger umzugehen und die Wissenschaftler an den Plätzen einzusetzen, an die sie zum Wohl der Nation gehörten. Andererseits hat im Zweiten Weltkrieg die Entwicklung der *Hahnschen* Kernspaltung in Amerika die rapide Förderung der Entwicklung der bis dahin unbekannt Elemente in einem in normalen Zeiten unmöglichen Ausmaß gefördert.

Wo stünde — in bezug auf die Förderung durch Nachbar-disziplinen — die Chemie weiterhin, wenn sie nicht die vom Botaniker *Tswett* gefundene Chromatographie — die Auftrennung von Substanzgemischen an adsorbierenden Oberflächen — aufgegriffen und zur Papierchromatographie und Verteilungschromatographie weiterentwickelt hätte. Wie mühsam wäre der Weg in wissenschaftliches Neuland zu einer Zeit, in der Substanzen und Substanzgemische immer komplizierter werden, wenn nicht die Identifizierung durch die heute täglich angewandte Infrarotspektroskopie möglich wäre?

Durch einen *einzigsten Anstoß* können heute — das hat nun nichts mehr mit den Nachbardisziplinen zu tun — weite neueartige Forschungsgebiete schlagartig aufgerissen werden: Die Entdeckung der Existenz eines *Lithium-Aluminiumhydrids* hat einerseits die gewaltige Förderung der Hydridchemie durch *Wiberg* im Gefolge gehabt, zum anderen hat sie die Grundlagen zur aluminium-organischen Synthese *Zieglers* geliefert, die u. a. in der Schaffung des sogenannten Niederdruck-Polyäthylens ihren greifbaren Ausdruck gefunden hat.

Das Prinzip, in der Fülle der organischen Verbindungen den stets darin enthaltenen Wasserstoff durch das leichteste Halo-

gen, nämlich das *Fluor*, zu ersetzen, hat eine in ständiger Expansion begriffene fluororganische Chemie entstehen lassen, deren markantester Vertreter, das Teflon, nur eben erwähnt werden mag.

Und schließlich hat der Gedanke, die Chemie des in seinen Verbindungen das mineralische Prinzip verkörpernden Siliciums mit der des so vielfach variierbare Eigenschaften aufweisenden Kohlenstoffs zu verknüpfen, die Körperklasse der *Silikone* entstehen lassen, die in sich die Feuerbeständigkeit des Quarzes und die Elastizität der Kunststoffe auf Kohlenstoffbasis vereinigen.

Nach der alten Weisheit, daß da, wo viel Licht ist, auch viel Schatten ist, sollten wir nun aber auch betrachten, welche *hindernden Einflüsse* dem Suchen und Finden neuer Ergebnisse entgegenstehen können. Drei Faktoren scheinen mir in dieser Hinsicht beachtenswert: Der *wissenschaftliche Irrtum*; die Tatsache, daß bisweilen die *Zeit* für neue Erkenntnisse noch nicht reif sein mag und schließlich das Vordringen des Neuen verhindernde wissenschaftliche *Autokratentum* angesehener Fachgenossen.

Das klassische Beispiel eines allerdings nur kurze Zeit bestehenden wissenschaftlichen Irrtums wird von dem, der ihm selbst zum Opfer fiel, von *Otto Hahn*, selbst beschrieben: Als *Hahn*, *Meitner* und *Strassmann* in den Jahren 1934 bis 1938 im Anschluß an Versuche des Italieners *Fermi* Uran mit Neutronen bestrahlten, glaubten sie, die vorhin kurz erwähnten Transurane — die künstlichen Elemente mit höheren Ordnungszahlen als Uran — entdeckt zu haben. Zu dieser Annahme sahen sie sich gezwungen, weil einer andersartigen Deutung der von ihnen und auch von *Fermi* beobachteten Phänomene die damals gültige Vorstellung der theoretischen Physik über das Verhalten schwerer Atomkerne entgegenstand. Erst 1938 siegte die unbestechlich experimentierende Chemikerseele in *Otto Hahn* über die theoretischen Vorstellungen des Physikers Hahn. Die Aufspaltung des Urans in zwei kleinere Bruchstücke — Barium und Krypton — war gesichert, eine Kernspaltung damit erstmals nachgewiesen.

Dem experimentierenden Anorganiker wird immer die vor etwa 30 Jahren erfolgte Mitteilung einer als sensationell bewerteten Auffindung einer roten Chlorverbindung des Edelgases Krypton vor Augen stehen. Diese Substanz erwies sich dann kurze Zeit später recht trivial als Verbindung zweier Verunreinigungen in den Ausgangsmaterialien: Im Chlor war als Verunreinigung etwas Chlorwasserstoff enthalten, andererseits hatte sich bei den herrschenden Versuchsbedingungen aus kleinen, in der Apparatur vorhandenen Luftmengen eine Stickstoff-Sauerstoff-Verbindung gebildet, die mit dem Chlorwasserstoff zu einem roten Addukt zusammentrat.

Die Zahl der trivialen Irrtümer ist naturgemäß Legion. Recht groß ist aber auch die Zahl der Forschungsergebnisse, die wohl *lege artis* erhalten worden sind, für die aber die Zeit noch nicht reif war. So ging, wie schon geschildert, *Perkin* in die Geschichte als Begründer der Teerfarbstoffe ein, obwohl bereits 1833 *Runge* das Anilin isoliert und daraus Farbstoffe hergestellt hatte. Das Gremium von Fachgenossen, das damals seinen diesbezüglichen Bericht angehört hatte, war danach ungehört zur Tagesordnung übergegangen.

Die heute so bedeutungsvolle Kunststoffklasse der Silikone, die gegen Ende des letzten Weltkrieges die Fachwelt so ansprachen, da man sie in mancher Beziehung geradezu für Wundersubstanzen hielt, hat der Altmeister der organisch ausgerichteten Siliciumchemie, *Kipping*, bereits kurz nach der Jahrhundertwende in Händen gehabt, ohne viel mehr damit zu tun, als sich über ihre harzige Konsistenz, die uns diese Körperklasse heute so wertvoll macht, zu ärgern.

Daß *Julius von Braun* den Grundstoff der Perlongewinnung bereits 1907 und *Gabriel* und *Maas* den des Nylons schon 1899 hergestellt hatten, mag nur am Rande erwähnt werden.

Während es mitunter sehr reizvoll ist, der Geschichte wissenschaftlicher Irrtümer nachzuspüren, kann man Berichte darüber, wie der Fortschritt durch wissenschaftliches Autokratentum aufgehalten worden ist, nur mit Kopfschütteln studieren.

Zwei große Namen mögen beispielgebend für diesen Sachverhalt angeführt werden: *Wilhelm Ostwald* und *Jöns Jakob Berzelius*.

Der als Begründer der physikalischen Chemie gefeierte Nobelpreisträger des Jahres 1908, *Wilhelm Ostwald*, hat sich aus unvorstellbarer Voreingenommenheit hartnäckig gegen die Existenz von Atomen ausgesprochen, für die laut seiner eigenen Aussage im Jahre 1902 „irgendwelche ernstliche Stütze bisher nicht gefunden wurde“. Er tat diese als „Produkt ergebnisloser Spekulationen eifriger Gelehrter“ ab. Aus einseitiger Selbstgewißheit hat er auch dem *Mendelejeffschen* Periodensystem den Kampf angesagt, weil er sich mit der Spitzenstellung des Wasserstoffs in diesem System nicht abfinden konnte. Sie gemahnte ihn an alchemistische Zeiten, in denen der Gedanke an eine Urmaterie die Spitzenstellung behauptete. Er und mit ihm viele einflußreiche Angehörige seiner Schule haben damit der Entwicklung der physikalischen Chemie eine absolute Grenze gesetzt. Die physikalische Chemie hörte damals auf, schöpferisch zu sein und überließ die tieferen Probleme der Chemie freiwillig der Physik. Nicht zuletzt hat *Ostwalds* Voreingenommenheit viele Chemiker von der Teilnahme an den Bestrebungen der Physik abgehalten.

Die Rolle, die ein anderer Großer im Reiche der Chemie in dieser Hinsicht spielte, der so ungemein erfolgreiche „Vater der Atomgewichtsbestimmungen“ und Lehrer aller Großen seiner Zeit, *Jöns Jakob Berzelius*, ist aufs engste mit dem Fragenkomplex verbunden, der durch das Stichwort „Karlsruher Kongreß“ ausgedrückt sein mag, einen Fragenkomplex, in dem Irrtum, Zufall und hemmende Autokratie gleichermaßen eine Rolle spielen.

Nachdem *Dalton* 1808 auf Grund experimenteller Ergebnisse seine — zwar noch mit einigen Irrtümern behaftete — Atomtheorie aufgestellt und *Gay-Lussac* das Gesetz der reagierenden Volumenverhältnisse gefunden hatte, fehlte nur noch ein Schritt, um den Begriff der Atome gegen den der Moleküle abzugrenzen. Diesen Schritt hat 1811 der Italiener *Amadeo*

Avogadro getan, indem er aus den Resultaten der beiden Forscher — *Daltons* Irrtümer richtig stellend — seine berühmte alle Unklarheiten beseitigende Hypothese abgeleitet hat. Diese entscheidend wichtige Erkenntnis ging zu ihrer Zeit völlig unter. *Avogadro* störte das nicht, er war froh, das Richtige zu wissen und begnügte sich damit. *Berzelius* hielt in unverständlicher Weise ehern an den in *Daltons* Aussagen enthaltenen einseitigen Irrtümern fest und kam so zwangsläufig zur Ablehnung *Avogadros*, nicht zuletzt auch, weil er ein von *Avogadro* postuliertes Wasserstoffmolekül der Formel H_2 unmöglich akzeptieren konnte, da es seiner — *Berzelius* — nie bewiesenen sogenannten „dualistischen“ Auffassung, daß nur polare, niemals aber gleichartige Atome miteinander in Verbindung treten könnten, nicht entsprach.

Die Folgen waren verheerend, denn der diktatorisch auftretende, unbestrittene Herrscher seines Wissensbereiches, der zwar ein genialer Experimentator, aber ein weniger glänzender Theoretiker war, wirkte mit seinen Anschauungen derart auf seine Schüler und noch jahrzehntelang auf seine Nachfolger nach, daß von etwa 1810 bis 1860 eine völlige Verwilderung hinsichtlich der chemischen Grundbegriffe herrschte. Jeder Forscher hatte seine eigene Vorstellung über die Atom- und Molekulargewichte — und damit über Atome und Moleküle.

In dieser chaotischen Situation wurde 1860 von *Kékulé* und einigen anderen deutschen Chemikern der erste internationale Chemikerkongreß nach Karlsruhe einberufen, an dem über hundert Fachgenossen teilnahmen. Die Einberufung dieses Kongresses wäre unnötig gewesen, wenn die Chemiker der damaligen Zeit eine kleine Schrift, die der Italiener *Cannizzaro* in Form eines Briefes an einen italienischen Kollegen — allerdings in italienischer Sprache — zwei Jahre vorher veröffentlicht hatte, zur Kenntnis genommen hätten. Gleichwohl trug aber *Cannizzaro*, den — zum Unterschied von *Avogadro* — sein Temperament nicht ruhen ließ —, auf dem Kongreß in feuriger Rede lebhaft seine Meinung vor, die auf nicht mehr und nicht weniger herauslief, als daß das lähmende Wirrwarr auf dem Gebiet der chemischen Grundbegriffe schlagartig zu beheben sei,

wenn die von *Berzelius* in Acht und Bann getane und seitdem vergessene Anschauung von *Avogadro* als vollgültig anerkannt werde.

Die Rede fand zum Teil Anklang, zum Teil wurde sie abgelehnt; manche Teilnehmer reisten gleich danach ab, der Präsident der Versammlung nahm überhaupt nicht Stellung. Der Kongreß ging auseinander mit der Feststellung, daß man über wissenschaftliche Fragen nicht abstimmen könne und daß daher jedem einzelnen Forscher seine volle Freiheit gelassen werden müsse. *Cannizzaro* ließ dies nicht ruhen. Er verteilte am Schluß nochmals einen Abriß seines Vortrags — in italienischer Sprache —, aber auch dieser wurde von den Kongreßteilnehmern kaum zur Kenntnis genommen.

Der Zufall wollte es, daß ein Exemplar schließlich doch in die richtigen Hände gelangte: Der Heidelberger Professor *Lothar Meyer* las das Heftchen auf der Heimreise vom Kongreß und berichtete darüber: „Es fiel mir wie Schuppen von den Augen, die Zweifel schwanden und das Gefühl ruhigster Sicherheit trat an ihre Stelle.“

Er hat der richtigen Anschauung kurze Zeit danach zum Siege verholfen und eine befreiende Wirkung bei der Fachwelt ausgelöst.

Lassen Sie mich zum Schluß ein höchst aktuelles Beispiel für das *Zusammenklingen aller zum „Suchen und Finden neuer Ergebnisse der Chemie“ gehörenden Kriterien* geben. Ein Beispiel, mit dem ich auch die hier im Saal anwesenden Damen ansprechen zu können glaube: Es ist die künstliche Darstellung des „Königs im Bereich der Kristalle“, des Diamanten. Seine chemische Zusammensetzung kann seit der von *Lavoisier* getroffenen Feststellung gar nicht einfacher sein: Er besteht aus reinem Kohlenstoff. Wir werden aber sehen, daß die künstliche Darstellung dieser besonderen Art des Kohlenstoffs — eine andere Art ist der Graphit — ein spannendes Drama ist, in dem Wunsch und Wirklichkeit, Dichtung und Wahrheit zusammentreffen.

Recht ernst zu nehmende Versuche zur Darstellung künstlicher Diamanten hat 1898 der große französische Chemiker *Moissan* unternommen, nachdem in einem in Amerika niedergegangenen Eisenmeteoriten Diamanten gefunden worden waren. Er glaubte — und irrte sich darin —, daß bei der plötzlichen Abkühlung von flüssigem Eisen, in dem Kohlenstoff gelöst ist, große Drucke in den inneren, noch nicht abgekühlten Eisenanteilen entstehen müßten, die der Diamantbildung aus dieser Schmelze förderlich seien. Der Zufall wollte es auch hier, daß eine zwei Jahre vor Moissans Tod von ihm veröffentlichte Arbeit, in der er seinen Versuchen eine andere Deutung gibt — nämlich das Mitwirken gasförmiger Reaktionskomponenten —, praktisch unbeachtet geblieben ist. Es liegt nicht im Rahmen unserer Ausführungen, hier alle späteren Versuche anderer Forscher eingehend zu erwähnen. Wichtig ist nur, zu vermerken, daß es nicht schwierig ist, Diamanten als solche zu identifizieren: Rein chemisch muß der ausschließliche Kohlenstoffgehalt sichergestellt werden; weiterhin sind Dichte, Lichtbrechung und Röntgendiagramm unbestechliche Kriterien. Alle Bearbeiter haben aber, so absurd es klingen mag, ein oder mehrere Kriterien unbeachtet gelassen, so daß exakte Nachprüfungen die merkwürdigsten Täuschungen offenbarten. Die „Diamanten“ erwiesen sich als Aluminiumoxyd, Siliciumkarbid, Quarz oder als — Eisen und Aluminium enthaltender — Hercynit. All diese nachgewiesenen Stoffe stammten aus Verunreinigungen in den Ausgangsprodukten oder vom Gefäßmaterial. Während die bisher genannten Verfahren der Erfahrung ausgebildeter Chemiker bedurften, war dem Dilettantismus und schließlich auch dem Betrug Tür und Tor geöffnet, wenn ein zwischen Kohleelektroden brennender Lichtbogen zur Diamantenerzeugung herangezogen wurde. Der berühmte Bonner Diamantenmacher der fünfziger Jahre hat sich in alchemistischer Manier dieses Verfahrens bedient.

Auf rein chemischem Wege ist 1880 der Schotte *Hannay* an die Diamantensynthese herangegangen, indem er Benzin und Knochenöl in sorgfältig zugeschweißte Flintenläufe eingeschlossen und diese zur Rotglut erhitzt hat. Die von ihm dargestellten „Diamanten“ werden noch heute im Britischen Museum in London aufbewahrt. Niemand hat es damals der Mühe

Wert gehalten, das Verfahren nachzuprüfen. Hannay wurde von seiner Zeit mißverstanden. Es wurde als Blasphemie angesehen, Diamanten herstellen zu wollen. Dabei hatte Hannay ursprünglich gar nicht die Absicht, Diamanten zu synthetisieren. Ihn interessierte das Verhalten von Kohlenwasserstoffdämpfen oberhalb des kritischen Zustands gegenüber dem Alkalimetall Lithium. Seine unter Zugrundelegung unhaltbarer Arbeitshypothesen gewonnenen Ergebnisse stießen auf große Skepsis, zumal er als äußerst korrekter Chemiker alle Fehlexperimente, die mit aufplatzenden Flintenläufen geendet hatten, mitgezählt hatte und somit nur eine Erfolgsquote von 3 % bei seinen Versuchen hatte angeben können. Obendrein glaubte man, ihm, als seine Angaben tatsächlich einmal nachgearbeitet wurden, Unstimmigkeiten nachweisen zu müssen; dies aber nur, weil beim Nachbau seiner Geräte die Angabe „Zoll“ und „Zentimeter“ verwechselt worden war.

Heute haben die von *Hannay* gefundenen Ergebnisse in einem ganz anderen Sinne aktuelle Bedeutung: Die Frage der Löslichkeit von Feststoffen in Gasen oder Lösungsmitteldämpfen ist ein in vollem Fluß befindliches Gebiet der physikalischen Chemie; jeder, der Quarzkristalle und schließlich auch größere Diamanten züchten will, kann an *Hannays* Arbeiten nicht vorübergehen.

In den letzten Jahren hat schlagartig eine neue Entwicklung eingesetzt, die — um das Ergebnis vorwegzunehmen — zur fabrikmäßigen Erzeugung von künstlichen Diamanten geführt hat, obwohl die bisher gültige Theorie weitgehend dagegen stand. Der Durchbruch kam wieder einmal von ganz anderer Seite: Die Entwicklung der Hochdrucktechnik hat — wie seinerzeit beim Haber=Bosch=Prozeß, nur auf ungleich anspruchsvollerem Niveau —, die Wiederaufnahme der Bestrebungen ermöglicht. Entscheidend war, daß neue Hartmetall=Legierungen auf der Basis „Zirkonkarbid“ entwickelt worden waren und daß sich das passende Material für das Reaktionsgefäß fand, das einerseits plastisch genug war und andererseits bei den herrschenden Bedingungen — 50 000 at bis 130 000 at und 1700 °C bis 2600 °C — nicht schmolz. Die Kernfrage des Ge-

lingens war die Möglichkeit, die Gefäße über längere Zeit den erforderlichen Höchstdrucken aussetzen zu können, sowie — vom chemischen Standpunkt aus — im Metall Nickel den passenden Katalysator gefunden zu haben. Die auf Grund der vielfältigen Versuche zu fordernden Ausgangsmaterialien stellen eine späte Rechtfertigung sowohl für *Moissan* als auch für *Hannay* dar: Es hat sich als notwendig erwiesen, in einer kohlenstoffübersättigten Metallschmelze (wie bei *Moissan*) zu arbeiten. Das in der erwähnten, unbeachtet gebliebenen Arbeit *Moissans* beschriebene Gas hat sich als Stickstoff herausgestellt, der unter den technischen Bedingungen der Synthese als energieaufnehmendes Cyangas in die Reaktion eingeht. Auch in dem von *Hannay* angewandten Knochenöl ist Stickstoff enthalten, dem aber damals keinerlei Bedeutung beigemessen wurde.

Ein letztes Mal hat ein besonderes Geschick in die Synthesebestrebungen insofern hineingespielt, als die Direktion der amerikanischen Firma, die als erste die Diamantensynthese aufgenommen hatte, im Jahre 1953 plötzlich die Einstellung der zu kostspieligen und letztlich doch aussichtslos erscheinenden Versuche angeordnet hatte. Auf eigenes Risiko hat der bis dahin damit beauftragte Chemiker doch noch einen weiteren Apparat bauen lassen, mit dem am 16. Dezember 1954 dann der erste Erfolg erreicht wurde.

Noch heute ist die technische Diamantensynthese nicht wissenschaftlich exakt begründbar. Die Empirie ist der Theorie wieder einmal vorausgeeilt. Wenn auch die heute mit der Synthese beschäftigten Firmen — in Amerika, in Schweden und in Südafrika — ihre Ergebnisse nicht mehr als Firmengeheimnisse ansehen, so ist doch die Diamantensynthese als solche von hartnäckig festgehaltenen Geheimnissen umwittert.

Lassen Sie mich noch einmal auf das am Anfang gegebene Bild chemischer Entdeckungen in der Sicht von Film und Fernsehen zurückkommen: Der dabei geschilderte Gang der Handlung mag die Wirklichkeit des einen oder anderen Falles, wie wir sahen, wohl richtig wiedergeben. Nur beginnt er einen

Schritt zu spät, indem er nämlich offen läßt, wieso denn Plan und Idee geboren werden konnten, deren glücklich=verbissene Verfolgung allen, die das noch nicht wissen oder es vergessen haben sollten, klarzumachen hat, daß ohne Fleiß kein Preis gegeben wird, daß schließlich das Wahre und der Genius siegen, und daß einem starken Willen selbst das ungewöhnlich Scheinende gelingt. Wir können es auch mit einem Wort ausdrücken, das *Goethe* im Jahre 1831 zu Eckermann gesagt hat: „Es geht doch nichts über die Freude, die uns das Studium der Natur gewährt. Ihre Geheimnisse sind eine unergründliche Tiefe, aber es ist uns Menschen erlaubt und gegeben, immer weitere Blicke hinein zu tun. Gerade daß sie am Ende doch unergründlich bleibt, hat für uns einen ewigen Reiz, immer wieder zu ihr heranzugehen und immer wieder neue Einblicke und Entdeckungen zu versuchen.“

Zusammenstellung der u. a. herangezogenen Literatur:

- W. Ganzenmüller**, Beiträge zur Geschichte der Technologie und der Alchemie, Verlag Chemie GmbH., Weinheim/Bergstraße 1956
- Prof. Dr. Otto Hahn**, Unwägbarkeit chemischer Elemente als Schlüssel der Forschung, Musterschmidt-Verlag, Göttingen 1960
- Alwin Mittasch**, Geschichte der Ammoniaksynthese, Verlag Chemie, Weinheim 1951
- E. Rabinowitsch** — E. Thilo, Periodisches System, Enke, Stuttgart 1930
- Gustav Schenk**, Vor der Schwelle der letzten Dinge, Safari-Verlag, Berlin 1955
- Hermann Schüller**, Forscher zwischen Traum und Tat, Berlin-Ulm, Ebner und Ebner
- G. von Studnitz**, Wahn oder Wirklichkeit, eine Geschichte der Naturforschung, Rütten und Loening Verlag GmbH., Frankfurt (Main) und Hamburg 1955
- Carl R. Theiler**, Männer und Moleküle. Vom Werden, Wissen, Wirken der Chemie, Orell Füssli Verlag Zürich 1958