

KARLSRUHER AKADEMISCHE REDEN  
NEUE FOLGE/NR. 12

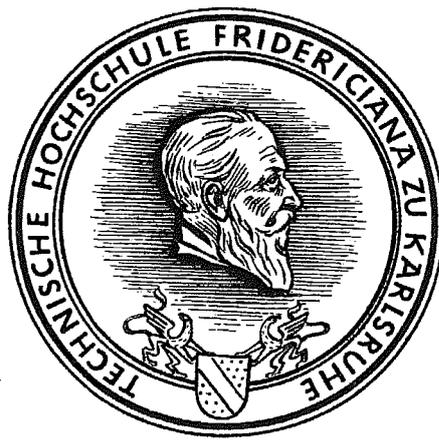
PROFESSOR DR. R. SCHOLDER

ÜBER DIE CHEMISCHEN ELEMENTE

VORTRAG

GEHALTEN BEI DER REKTORATSÜBERGABE

AM 4. DEZEMBER 1954



VERLAG C. F. MÜLLER IN KARLSRUHE

# ÜBER DIE CHEMISCHEN ELEMENTE

RUDOLF SCHOLDER

Für die Chemie als Wissenschaft von den Stoffen, ihren Eigenschaften und Änderungen, kann die Materie im weitesten Sinne zunächst einmal als gegeben vorausgesetzt werden. Die Frage nach dem Ursprung dieser Welt wird von den Kosmogonien der verschiedenen Religionen beantwortet, von den Philosophen diskutiert, von der modernen Physik in Experimenten abgetastet.

In großartiger Einfachheit als *creatio ex nihilo* postuliert die Bibel in Genesis 1, Vers 1:

„b<sup>e</sup>reschit bara elohim et ha shamajim w<sup>e</sup> et ha arez“.

Im Anfang schuf G o t t Himmel und Erde.

Diese stoffliche Welt zeigt dem unvoreingenommenen menschlichen Geist eine geradezu erschreckende Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, mit denen sich der Mensch — vielfältig bedroht — auseinandersetzen hat. Als erste historisch sich abzeichnende Stufe dieser in kaum bekannte Jahrtausende zurückreichenden Entwicklung finden wir die alten Kulturen mit staatlicher Ordnung und sozialer Schichtung; es gibt Herren und Knechte, Herren durch Gewalt, Herren kraft ihres priesterlichen Amtes, Herren, durch geistige Disziplinierung den Knechten überlegen. Diese Oberschicht bemüht sich nun auch um eine erkenntnismäßige Anschauung des menschlichen D a -seins und des umgebenden ganzen Kosmos. Im europäischen Raum schuf sie als Fundament abendländischer Kultur das großartige Gebäude der griechischen Philosophie. Hier begegnen wir auch erstmalig dem Begriff von Element und Atom, allerdings rein spekulativ, ohne klare Scheidung von Vorstellung und Wirklichkeit. Die rein geistige Funktion wird verhängnisvoll überschätzt gegenüber dem verachteten Handwerklichen, dessen edelste Form das naturwissenschaftliche Experiment ist.

Die lateinischen „*elementa*“ bedeuten anfänglich nur die aus Elfenbein gefertigten Buchstaben, die beim E l e m e n t a r unterricht Verwendung fanden. Diesen „*elementa*“ entsprechen die griechischen

„stoicheia“, zunächst ebenfalls Buchstaben als Anfänge des Wissens, später elementare Kräfte überhaupt.

Thales postulierte um 600 v. Chr. das Wasser als den Urstoff aller Dinge, Anaximenes to pneuma (die Luft). Die Lehre von den 4 Elementen Feuer, Luft, Wasser, Erde geht auf Empedokles um 500 v. Chr. zurück und bei Demokrit findet sich erstmalig die Theorie, daß die stoffliche Welt aus nicht wahrnehmbaren, qualitätslosen, nur durch Größe und Gestalt verschiedenen kleinsten Einheiten besteht, ihrerseits unteilbar und daher als atoma bezeichnet. Aristoteles fügt den vier Elementen des Empedokles ein fünftes hinzu, usia, meist mit „Äther“ übersetzt. Diese aristotelischen Elemente sind nicht eigentlich Stoffe, sondern Eigenschaften der Urmaterie. Es sind die „primae qualitates“ der Scholastiker des Mittelalters. Die Verschiedenheit der Stoffe findet ihre Erklärung durch Hinzufügung dieser Elemente zum eigenschaftslosen Urstoff in wechselnder Quantität. Diese Elemente oder Eigenschaften sind austauschbar. Daraus resultiert zwangsläufig die aristotelische Lehre von der unbegrenzten Verwandelbarkeit der Stoffe ineinander. Die atomistische Auffassung der Materie lehnt Aristoteles ab: da die unendliche Teilung des Stoffes denkbar ist, ist die Annahme nicht teilbarer Teilchen unzulässig. Der Wandel des Elementbegriffs von einer noch aristotelisch beeinflussten Auffassung zur Definition der klassischen Chemie vollzieht sich erst im 17. Jahrhundert. Diese Definition besagt: Elemente sind Stoffe, die weder durch chemische noch durch physikalische Operationen in andere neue Stoffe zerlegt werden können. So kann der gewaltige Zeitraum fortschreitender kultureller Entwicklung von mehr denn 1000 Jahren unter dem Aspekt der chemischen Elemente mit wenigen Sätzen überbrückt werden. Ausgehend von der aristotelischen Lehre der Transmutation der Stoffe beginnt in den ersten nachchristlichen Jahrhunderten ein Zeitalter chemischer Betätigung mit einer besonderen und dabei ausschließlichen Zielsetzung, der Umwandlung unedler Metalle in Gold.

Diese alchemistische Kunst nahm ihren Ausgang von Alexandria, dem geistigen Mittelpunkt des späteren Hellenismus, verbreitete sich von da über Spanien nach Mitteleuropa und erreichte im Abendland ihre höchste Blüte um 1400. Im Gegensatz zur Antike wird zwar in diesen alchemistischen Küchen mit wahrer Besessenheit experimentiert, aber diese Vorgänge werden mit mystisch-philosophischen, astrologischen und auch religiösen Vorstellungen verknüpft unter Verwendung einer geheimen Symbolik und unter Berufung auf vielfach gefälschte Schriften früherer, historisch oft fragwürdiger alche-

mistischer Autoritäten. Ziel ist die Gewinnung des alles bewirkenden Steins der Weisen, der quinta essentia.

Als bleibende Ergebnisse dieser Epoche von Fanatikern und Phantasten, von Betrügern und Betrogenen, verzeichnet die Geschichte der Chemie zwar Fortschritte in der apparativen Ausrüstung und in der Darstellung chemischer Präparate, jedoch nicht eine einzige prinzipielle Klärung im Bereich der stofflichen Welt. Das Ende des eigentlichen alchemistischen Zeitalters wird meist um 1500 angesetzt. In dieser Zeit trennt sich fast unmerklich von der Alchemie die Chemie als Wissenschaft ab mit zunächst vorzugsweise praktischer Zielsetzung. So fordert und betreibt Paracelsus von Hohenheim, dessen ruhelose und ungezügelter Persönlichkeit im Urteil der Geschichte stark umstritten ist, von theoretischen Überlegungen ausgehend die chemische Herstellung von Heilmitteln. Georg Agricola gibt in seinem umfangreichen Werk „de re metallica“ eine ausgezeichnete Anweisung für Bergbau und Hüttenwesen. Van Helmont in Brüssel, ein origineller Forscher von europäischer Berühmtheit, wird zum Begründer der Chemie der Gase und Johann Glaubers Verdienste auf dem Gebiet der angewandten Chemie sind immerhin so bedeutend, daß die Gesellschaft Deutscher Chemiker seines 450. Geburtstages vor wenigen Wochen in seinem Geburtsort Karlstadt am Main in einer besonderen Feier gedachte. Trotz dieser experimentellen Leistungen waren alle diese Männer, sofern sie sich überhaupt theoretisch äußerten, noch weitgehend der Anschauung des Mittelalters verhaftet; sie glaubten ebenso an die Umwandlung der Metalle wie an den Stein der Weisen.

Die klassische Lehre von den chemischen Elementen als unzerlegbaren Grundstoffen der materiellen Welt wird um die Mitte des 17. Jahrhunderts von dem Deutschen Joachim Jungius und wenig später von dem zu Unrecht viel bekannteren Engländer Robert Boyle erstmalig ausgesprochen und es dauert immerhin ein Jahrhundert, bis sie sich gegenüber der alten aristotelischen Lehre allgemein durchgesetzt hat. Die Zahl der am Ende des 17. Jahrhunderts als Elemente erkannten Stoffe ist allerdings noch sehr klein; es sind außer den schon im Altertum bekannten Metallen Gold, Silber, Quecksilber, Kupfer, Eisen, Blei und Zinn die Elemente Schwefel, Kohlenstoff, Arsen, Antimon und Phosphor; ihre Zahl steigt bis zum Ende des 18. Jahrhunderts um weitere 23. Darunter befinden sich auch Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, deren Charakterisierung als Elemente von grundsätzlicher Bedeutung ist. Scheele und Priestley zeigten, daß die Luft eine Mischung aus Sauerstoff und Stickstoff darstellt. Durch diesen Nachweis und durch die von Caven-

dish durchgeführte Synthese des Wassers aus Wasserstoff und Sauerstoff wurde die alte aristotelische Lehre von der elementaren Natur der Luft und des Wassers endgültig widerlegt.

Das 18. Jahrhundert ist charakterisiert durch schlechthin bewundernswerte, experimentelle Leistungen zahlreicher ausgezeichneter Chemiker, von denen wohl Scheele der bedeutendste und fruchtbarste war. Aber sie alle — mit Ausnahme von Lavoisier — waren Anhänger der auf Becher zurückgehenden, von Georg Ernst Stahl zu allgemeiner Anerkennung gebrachten Phlogistontheorie und damit einem sehr grundsätzlichen Irrtum verfallen. Diese Theorie besagt, daß bei allen Verbrennungsvorgängen, ebenso bei der Atmung, Gärung und Verwesung, ein brennbarer Stoff, das Phlogiston entweicht, das nach Scheele „ein wahres Element und ein ganz einfaches Prinzipium“ ist. Die elementare Natur der brennbaren Grundstoffe wie Phosphor, Schwefel, Kohlenstoff und der leicht oxydierbaren Metalle wie Zink oder Eisen wurde durch die Phlogistontheorie ernstlich in Frage gestellt. Ihre experimentell-quantitative Widerlegung und ihre kompromißlose Bekämpfung ist das zeitlose Verdienst von Lavoisier. Er wies unter Benützung einer genauen Waage eindeutig nach, daß beim Verbrennungsvorgang nicht das mysteriöse Phlogiston entweicht, sondern umgekehrt die Feuerluft, der kurz zuvor entdeckte Sauerstoff, aufgenommen wird. Er setzte damit in Übereinstimmung mit Robert Boyle und im Gegensatz zu den Phlogistikern die Metalle wieder in ihre Rechte als einfache Stoffe, als Elemente ein. Lavoisier, einer der besten Chemiker seiner Zeit, wurde 1794 hingerichtet. Das Begnadigungsgesuch wurde mit der berühmten Begründung abgelehnt „la république n'a pas besoin de savants“.

Der Status der wissenschaftlichen Chemie am Ende des 18. Jahrhunderts zeigt folgendes Bild: Die Erkenntnis wird auf experimentellem Wege gesucht; neben der qualitativen Untersuchung kommt der quantitativen, also den durch Gewicht oder Volumen ermittelten Mengen der an einer chemischen Umsetzung beteiligten Stoffe entscheidende Bedeutung zu. Eine Theorie, die nicht im Einklang mit den experimentellen Erkenntnissen steht und diese zu deuten vermag, wird abgelehnt. Die Zahl der gesicherten experimentellen Einzelergebnisse ist schon sehr groß; sie findet ihren Niederschlag in den zeitgenössischen Lehrbüchern der Chemie, die nunmehr, abgetrennt von anderen, älteren Disziplinen, etwa der Medizin oder der Mineralogie als besonderes Fach an den Universitäten in Erscheinung tritt. Auf der anderen Seite ermangelt es noch in hohem Maße der allgemein gültigen Erkenntnisse, der Einordnung der Einzelergebnisse

in ein System. Begriffe wie Atom, Molekül, Atomgewicht, Wertigkeit, chemische Bindung und chemische Konstitution müssen erst erarbeitet und geklärt werden. Die großen fundamentalen Entscheidungen fallen schon in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, 1869 folgt die Entdeckung des periodischen Systems der Elemente, dann fließt der Strom der chemischen Erkenntnis in ruhigeren Bahnen, bis mit der Entdeckung der Radioaktivität kurz vor der Jahrhundertwende etwas völlig Neues, zunächst kaum Faßbares hinzukommt, die Elementumwandlung durch Atomzerfall. Damit beginnt im Bereich der Elemente, im Bereich ihrer kleinsten Teilchen, der Atome, eine neue Entwicklung, vor deren schlechthin welterschütternden Ergebnissen wir heute, 56 Jahre nach der Entdeckung der Radioaktivität, zutiefst beunruhigt stehen, in Furcht und in Hoffnung.

Das vergangene Jahrhundert bringt auch die so notwendige Konvergenz von Chemie und Physik. Die Methoden der Physik finden ihre Anwendung auf chemische Probleme; physikalische Erkenntnisse werden für die Weiterentwicklung der Chemie schlechthin unentbehrlich. Heute ist das Atom als Objekt der Forschung ausschließlich Domäne der modernen Physik.

Vom Beginn des 19. Jahrhunderts bis 1869, dem Jahr der Entdeckung einer sinnvollen Anordnung der Elemente in einem System, gewann die Chemie Erkenntnisse von so grundsätzlicher Art, daß diese heute fast gedankenlos als elementare Selbstverständlichkeiten hingenommen und in der Schwierigkeit ihrer damaligen Problematik kaum mehr erfaßt werden. Als erstes führe ich die von Dalton 1808 ausgesprochene Atomtheorie an: Eine gegebene Menge eines Elements ist nicht unendlich teilbar; sie besteht vielmehr aus einer begrenzten, endlichen Zahl kleiner, nicht weiter zerlegbarer Teilchen von gleichem Gewicht und gleicher Gestalt, den Atomen. Dalton zog diese Folgerung aus der zunächst umstrittenen, dann aber von zahlreichen Forschern im Experiment bewiesenen, absolut fundamentalen Erkenntnis, die als Gesetz der konstanten und der multiplen Proportionen bezeichnet wird: Treten zwei Elemente unter Bildung einer Verbindung in Reaktion, so geschieht dies nach einfachen, konstanten Gewichtsverhältnissen. Die Atomtheorie von Dalton wurde somit zur Erklärung experimenteller Ergebnisse ersonnen und unterscheidet sich damit scharf von der rein spekulativen Aussage der griechischen Philosophie über die „atoma“. Der wirkliche Nachweis der atomistischen Struktur der Elemente und der Materie überhaupt ist erst sehr viel später gelungen. Dieses Dalton'sche Atom hat ein allerdings unvorstellbar kleines Gewicht, das für jedes Element verschieden ist. Dieses Gewicht für jedes Element zu ermitteln, war vordringliche

Aufgabe. Dabei konnte es sich nur um die Festlegung relativer Atomgewichte handeln unter willkürlicher Festlegung eines Bezugselements. Schon Dalton schlug vor, diese relativen Atomgewichte auf das Atomgewicht des Wasserstoffs als des leichtesten Elements zu beziehen und dieses gleich 1 zu setzen. Die konkrete Frage lautete somit: Wievielmals schwerer ist etwa 1 Atom Fe oder Pb als 1 Atom H? Aus praktischen Gründen wurde später als Bezugsbasis Sauerstoff  $O = 16,000$  gewählt. Es sei nur eben erwähnt, daß wir heute auch das Gewicht des einzelnen Atoms angeben können, nachdem es — erstmalig 1865 — gelungen ist, die Loschmidt'sche Zahl experimentell zu bestimmen; sie besagt beispielsweise, daß in 1 g Wasserstoff oder 23 g Natrium oder 208 g Blei  $6,03 \cdot 10^{23}$  einzelne Atome enthalten sind.

Die Festlegung der richtigen relativen Atomgewichte begegnete viele Jahrzehnte lang nicht nur methodischen Schwierigkeiten hinsichtlich der erreichbaren Präzisierung; es ging dabei mehr noch um heiß umstrittene Entscheidungen prinzipieller Art. Dazu nur ein Beispiel für viele: Das Silber hat heute das Atomgewicht 107,880. Dalton schlug 1808 den Wert 100 vor, prinzipiell richtig, aber noch sehr ungenau, Berzelius dagegen setzte 1818 den 4-fachen, später den doppelten Wert von Dalton ein. Mühsam, oft halb verzweifelt, kämpften sich die Chemiker von 1810 bis etwa 1860 zu den noch nicht sehr genauen, aber wenigstens prinzipiell richtigen relativen Atomgewichten der durch Neuentdeckung ständig vermehrten Elemente durch. Die „Einleitung in die moderne Chemie“ von A. W. v. Hofmann aus dem Jahre 1866 bringt eine Atomgewichtstabelle der damals bekannten 63 Elemente, die nur noch drei Fehler prinzipieller Art enthält; so finden wir als Atomgewicht des Urans die Zahl 120, richtig ist jedoch der doppelte, gleichzeitig genauere Wert 238,07. Heute hat die Präzisierung der Atomgewichte in ihrer zweiten, dritten und sogar vierten Dezimale einen sehr hohen Stand erreicht; sie steht unter der Kontrolle der internationalen Atomgewichtskommission.

Die prinzipiell richtigen, wenn auch nicht sehr genauen Atomgewichte der bisher bekannten Elemente sind die Voraussetzung für das große Ereignis des Jahres 1869. Wenn man auch schon früher erkannt hatte, daß gewisse Elemente auf Grund ihrer ähnlichen Eigenschaften offensichtlich eine Art Familie bilden, so waren doch bisher alle Versuche einer sinnvollen Ordnung aller Elemente gescheitert. Dieser große Wurf gelang Lothar Meyer, damals in Karlsruhe, später in Tübingen, und Dimitri Iwanowitsch Mendelejew in Petersburg gleichzeitig und völlig unabhängig voneinander durch die Aufstellung ihres natürlichen, periodischen Systems der

Elemente. Meyer und Mendelejeff ordneten die Elemente einerseits nach steigendem Atomgewicht, andererseits nach der chemischen und physikalischen Ähnlichkeit durch geeignete Unterteilung der Gesamtreihe in kleinere, untereinander gesetzte Reihen, die als Perioden bezeichnet werden. In den so gebildeten senkrechten Kolonnen, den Gruppen, fanden sich die physikalisch und chemisch ähnlichen Elemente zusammen. Das System wurde auf rein empirischer Grundlage aufgestellt; die dabei auftretenden, nicht geringen Schwierigkeiten wurden mit geradezu intuitiver Sicherheit gemeistert, vor allem durch die von den beiden Autoren vorgeschlagene Einführung von Haupt- und Nebengruppen. Die schärfste Bewährungsprobe hat das noch heute gültige System dadurch erfolgreich bestanden, daß die zahlreichen, später entdeckten Elemente ohne Schwierigkeit in das ursprüngliche Schema eingeordnet werden konnten und zwar in Lücken, die Meyer und Mendelejeff vorausschauend belassen hatten. Die Theorie des empirisch erkannten, periodischen Gesetzes blieb allerdings im Dunkeln.

Wenden wir uns nun einmal kurz der Praxis der Entdeckung chemischer Elemente zu. Als stoffliches Reservoir steht neben der Lufthülle und den Meeren nur der alleräußerste Teil der Erdrinde zur Verfügung. Die Häufigkeit der einzelnen Elemente in diesem Bereich ist ungeheuer verschieden, die Verteilung höchst ungleichmäßig; glücklicherweise wurden durch geologische Vorgänge zahlreiche Elemente an bestimmten Stellen, den Lagerstätten, konzentriert. Weiterhin zeigt sich, daß die meisten Elemente nicht in freier elementarer Form vorliegen, sondern gebunden als Bestandteile einer chemischen Verbindung. So finden wir zahlreiche Metalle mit Sauerstoff verbunden als Oxyde.

Gemeinhin wird man die Entdeckung eines Elements erst dann als vollzogen anerkennen, wenn von diesem eine wägbare Menge in elementarer Form vorliegt. Für den Chemiker bedeutet diese Forderung zweierlei:

1. Die qualitative Erkenntnis des fast stets in gebundener Form in der Natur vorliegenden Elements durch neue, unterscheidende, nur für dieses Element charakteristische Reaktionen.
2. Seine Darstellung in elementarer Form durch Abtrennung aus einer dafür geeigneten Verbindung.

Die Entdeckungsgeschichte zahlreicher Elemente zeigt, daß diese beiden Vorgänge keineswegs immer zeitlich zusammenfallen. So wurde schon 1750 der Unterschied zwischen der Bittererde, dem Oxyd

des Magnesiums und der Kalkerde, dem Calciumoxyd festgestellt und damit das Magnesium als neues Element erkannt. Die Darstellung der beiden Metalle gelang jedoch erst 58 Jahre später.

Für die Erkennung und für die Isolierung in elementarer Form ist die Auffindung neuer Methoden oft schlechthin entscheidend. Die Entdeckung der vier seltenen Elemente Rubidium, Cäsium, Thallium und Indium wurde erst durch die von Kirchhoff und Bunsen 1859 entwickelte, sehr empfindliche spektralanalytische Nachweismethode ermöglicht.

Davy kommt das besondere Verdienst zu, nicht weniger als 7 sehr unedle Metalle von Typus des Natriums und Calciums erstmalig in elementarer Form dargestellt zu haben und zwar durch Anwendung der von ihm entwickelten Schmelzflußelektrolyse. Die chemische Individualität dieser 7 Metalle war dagegen in ihren Verbindungen schon lange vorher erkannt worden. Auf schmelzelektrolytischen Wege wird heute das gesamte Aluminium, etwa 2 Millionen Tonnen pro Jahr, erzeugt. Voraussetzung dafür war allerdings die zusätzliche Entwicklung der Generatoren zur Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie. Allgemein sei vermerkt, daß die Schwierigkeit der Darstellung eines Elements aus einer Verbindung in hohem Maße von der sehr unterschiedlichen Bindungsfestigkeit abhängig ist.

Das 19. Jahrhundert, das Jahrhundert der Chemie schlechthin, mit rund 50 neu entdeckten Elementen und mit einer großartigen Entwicklung im Bereich der Kohlenstoffverbindungen schließt wahrhaft sensationell. Im Frühjahr 1894 teilte der Physiker Lord Raleigh in der englischen Zeitschrift „Nature“ eine höchst mysteriöse Beobachtung mit. Er fand, daß 1 Liter des aus Luft gewonnenen Stickstoffs um 6,2 mg schwerer ist als das gleiche Volumen des aus stickstoffhaltigen Verbindungen dargestellten Stickstoffs. In gleicher Richtung ging eine durch diese Mitteilung angeregte Feststellung von Ramsay, seines Zeichens Chemiker. Für beide Beobachtungen gab es nur eine Erklärung: Die Luft mußte außer Sauerstoff und Stickstoff eine bisher unbekanntere schwerere Gasart enthalten. Die Zusammenarbeit der beiden Forscher führte schon im August des gleichen Jahres zur Entdeckung eines neuen gasförmigen Elements in der Atmosphäre, das sich in seinem chemischen Verhalten von allen bisher bekannten Elementen grundsätzlich unterschied. Es trat — ein vollkommenes Novum — mit keinem anderen Stoff in Reaktion und erhielt darum die Bezeichnung Argon, abgeleitet vom griechischen ἀργός = untätig. Heute steht im periodischen System eine ganze

Gruppe dieser als Edelgase bezeichneten, völlig inaktiven Elemente, die alle mit Ausnahme des Radons in wenigen Jahren von Ramsay entdeckt wurden. Dazu gehört auch das durch eine sehr charakteristische, gelbe Spektrallinie ausgezeichnete Helium, das J a n s e n schon 20 Jahre früher bei einer Sonnenfinsternis im Sonnenspektrum beobachtet hatte. Vom schwersten der in der Luft enthaltenen Edelgase, dem Xenon, sind in 100 Litern nur 0,008 ccm vorhanden. Ramsay's große Leistung wird durch die Feststellung nicht geschmälert, daß die Entdeckung des Neons, des Kryptons und des Xenons nur durch die Spektralanalyse und durch das Lindeverfahren zur Luftverflüssigung ermöglicht wurde.

Als letzte gewaltige Überraschung, gleichermaßen für Chemiker und Physiker, steht am Ausgang des 19. Jahrhunderts die Entdeckung der Radioaktivität. Mit ihr beginnt eine Entwicklung, die in atemberaubendem Tempo — als Ausgangspunkt der gesamten modernen Atomphysik — zu völlig neuen umstürzenden Erkenntnissen im Bereich der Elemente und Atome führt und die nach der technischen Seite in der Atombombe und der Atomkraftmaschine ihren weltbewegenden Ausdruck findet.

Hier möchte ich nun die rein historische Darstellung verlassen, um Ihnen vom Aspekt des Chemikers aus einen Überblick über den heutigen Status dieser großartigen Entwicklung zu geben, der in wenigen Sätzen formuliert werden kann.

Die Elemente, bis 1900 letzte unverwandelbare Grundstoffe der materiellen Welt, sind wandelbar. Die alte Transmutation der Stoffe ist in der natürlichen und in der künstlichen Elementumwandlung vielfältige Wirklichkeit geworden. Die Atome sind nicht mehr unteilbar, sondern teilbar; sie sind ihrerseits aus wenigen einfachsten Bausteinen, die den Atomen aller Elemente gemeinsam sind, in gesetzmäßiger Weise aufgebaut. Daraus ergibt sich zunächst einmal prinzipiell die Möglichkeit der Elementumwandlung. Und noch ein weiteres Ergebnis: Die Atome ein und desselben Elements haben keineswegs immer das gleiche Gewicht; dieses Postulat der klassischen Atomtheorie von Dalton ist falsch. Der grundsätzliche Wandel der Anschauungen ist ungeheuerlich. Die neuen Erkenntnisse sind das Ergebnis von Beobachtung und Experiment. Ausgangspunkt für das Verständnis aller Erscheinungen ist die moderne Theorie des Atombaus. Die drei Elementarbausteine, aus denen sich alle Atome aller Elemente zusammensetzen, sind die Protonen, die Neutronen und die Elektronen. Das komplizierte Gebilde eines Atoms besteht aus einem dichten, schweren Kern von Protonen und Neutronen und einer sehr

lockeren, fast gewichtslosen Hülle von Elektronen in gesetzmäßiger, heute bekannter Anordnung. Die Durchmesser von Atomkern und Gesamtatom verhalten sich wie 1 : 10 000.

Von diesen drei Elementarbausteinen wurden die **Elektronen** zuerst entdeckt. Es sind kleinste Teilchen mit negativer elektrischer Elementarladung, deren heute sehr genau bestimmte Masse nur  $1/1836$  der Masse eines Wasserstoffatoms beträgt; aus ihnen bestehen die schon lange bekannten Kathodenstrahlen. Man erhält freie Elektronen auch durch Erhitzen geeigneter Metalle auf hohe Temperaturen.

Die im Atomkern befindlichen **Protonen** sind Elementarteilchen mit positiver elektrischer Elementarladung und mit der Masse 1. Diese entspricht also der des Wasserstoffatoms, dessen Kern somit aus **einem Proton** besteht. Atome sind stets elektrisch neutral; entsprechend dem einen Proton im Kern kann daher das Wasserstoffatom in seiner Elektronenhülle nur 1. Elektron enthalten. Den Beweis dafür, daß Protonen in den Atomkernen vorkommen, erbrachte als erster **Rutherford** 1919 durch den Nachweis einer künstlichen Elementumwandlung. Seither sind sehr viele künstliche Elementumwandlungen durchgeführt worden, bei denen der Austritt von Protonen aus dem Kern in Erscheinung tritt.

Der zweite Kernbestandteil, das **Neutron**, ist ein Elementarteilchen, das ebenso wie das Proton die Masse 1, aber im Unterschied von diesem keine elektrische Ladung besitzt. Seine Existenz — schon lange vermutet — konnte erst 1932 wiederum bei einer künstlichen Elementumwandlung nachgewiesen werden. Nur kurz den Weg dieser höchst bedeutungsvollen Entdeckung als typisches Beispiel für den durchaus internationalen Charakter wissenschaftlicher Forschung. **Bothe** und **Becker** in **Heidelberg** beobachteten 1930 bei der Einwirkung radioaktiver  $\alpha$ -Strahlen auf Beryllium eine neue Strahlung, die sich durch eine überraschend große Durchdringungskraft gegenüber der Materie auszeichnete. Sie hielten sie für eine extrem kurzwellige und damit besonders energiereiche Lichtstrahlung, wie sie als sog.  $\gamma$ -Strahlung bei radioaktiven Elementen beobachtet wird. Im folgenden Jahr bewies das Ehepaar **Joliot-Curie** in **Paris**, daß diese neue Strahlung mit Sicherheit **keine  $\gamma$ -Strahlung** ist. 1932 zeigte dann **Chadwick** in **Liverpool**, daß es sich nicht um eine Lichtstrahlung handelt, sondern um schnell bewegliche kleinste Teilchen der Masse 1, die jedoch keine elektrische Ladung haben. Er wurde damit zum Entdecker des als Neutron bezeichneten Elementarteilchens.

Damit ist der Weg frei zu exakten Vorstellungen von dem Aufbau der Atome aller Elemente. Schon L e n a r d hatte aus dem Durchgang schneller Elektronen durch Materie geschlossen, daß die Masse der einzelnen Atome in diesen auf einen sehr kleinen Bereich konzentriert sein müsse. In dem Atommodell von Rutherford aus dem Jahre 1911 wird das Atom erstmalig in einen positiv geladenen, praktisch die ganze Masse enthaltenden Kern und eine diesen umgebende Elektronenhülle unterteilt. Die Zahl der positiven Ladungen des Kerns ist bei den einzelnen Elementen verschieden; sie ist gleich der Ordnungszahl, die jedes Element im Periodensystem zwangsläufig erhält, wenn man vom leichtesten, dem Wasserstoff, bis zum schwersten, dem Uran mit den Zahlen 1 bis 92 durchnumeriert. Die tatsächliche elektrische Neutralität des Atoms verlangt für jedes Element die entsprechende Zahl von Elektronen in der Elektronenhülle. Das Uran mit der Ordnungszahl 92 hat danach einen Kern mit 92 positiven Elementarladungen. Seine Elektronenhülle enthält 92 Elektronen. Erst 1932 nach der Entdeckung des Neutrons kann H e i s e n b e r g dieses Atommodell vervollständigen und damit die durch das Atomgewicht gegebene Masse richtig interpretieren. Der Kern des Urans enthält außer den 92 Protonen noch soviel Neutronen, als der Differenz zwischen der Kernladungszahl oder Protonenzahl — die Bezeichnungen sind synonym — und dem Atomgewicht entspricht. Uran mit der Protonenzahl 92 und dem Atomgewicht 238 enthält somit  $238 - 92 = 146$  Neutronen. Der Wasserstoff als einfachstes atomares Gebilde mit dem Atomgewicht 1 besteht aus einem Proton im Kern und einem Elektron in der Hülle. Der modernen Physik ist es gelungen, die gesetzmäßige Anordnung der Elektronen um den Kern durch Anwendung der Quantenmechanik weitgehend zu präzisieren. Sie bemüht sich heute — nicht ohne Erfolg — um die Lösung der schwierigen Frage nach der gesetzmäßigen Struktur des Atomkerns, die ebenfalls einem Schalenmodell zu entsprechen scheint.

Ich erwähnte vorhin als höchst eindrucksvolle, neue Erkenntnis, daß es bei den meisten Elementen Atome verschiedener Masse, also verschiedenen Atomgewichts gibt. Die Erklärung ist nunmehr einfach. Der individuelle chemische Charakter eines Elements wird allein durch die Ordnungszahl, die Zahl der im Kern enthaltenen Protonen und die ihr gleiche Elektronenzahl bestimmt. Dagegen ist die Zahl der Neutronen im Kern innerhalb kleinerer Grenzen eine quantité négligeable; kleinere Änderungen hier sind ohne jeden Einfluß auf das chemische Verhalten, obwohl sich dabei natürlich die Masse, das Atomgewicht, ändert.

Zu dieser Erkenntnis führte zwangsläufig die Untersuchung und

Aufklärung der radioaktiven Erscheinungen. Mit Hilfe einer sehr sinnreichen apparativen Anordnung, dem von *Aston* erfundenen Massenspektrographen, wurde für alle Elemente experimentell festgestellt, ob ihre einzelnen Atome gleiches Gewicht haben — man spricht dann von Reinelementen — oder ob sie Atomsorten verschiedenen Gewichts, aber gleichen chemischen Verhaltens aufweisen. Derartige Elemente bezeichnet man als Mischelemente, ihre verschiedenartigen Atomarten als Isotope — d. h. am gleichen Ort befindliche — denn alle Isotopen eines Elements müssen an der gleichen Stelle im Periodensystem eingeordnet werden, da ja ihre Ordnungszahl gleich ist. Der Aufbau der Atome aus Protonen und Neutronen, beide mit der Masse 1, fordert unter Vernachlässigung der außerordentlich geringen Masse der Elektronen zwangsläufig praktisch ganzzahlige Atomgewichte. Diese Forderung wird von den Reinelementen auch erfüllt, so hat das Fluor, von dem keine Isotopen bekannt sind, das Atomgewicht 19,0. Bei den Mischelementen wurde die Ganzzahligkeit für die einzelnen Atomarten, die Isotopen, ebenfalls bestätigt. Beispielsweise enthält das Mischelement Chlor 75,4 % Atome mit dem Atomgewicht 35,0 und 24,6 % mit dem Atomgewicht 37,0; für das Gemisch ergibt sich dann als mittleres Atomgewicht 35,457.

Auch das berühmte schwere Wasser, das zu etwa 0,002 % in jedem natürlichen Wasser enthalten ist, findet durch die Erscheinung der Isotopie seine Erklärung. Es enthält Wasserstoffatome mit dem Atomgewicht 2, da der Kern des schweren Wasserstoffs aus einem Proton und einem zusätzlichen Neutron besteht. Die Art und Menge der Isotopen eines Mischelements ist bei allen irdischen Vorkommen gleich. Ihre Trennung ist schwierig und infolge ihres völlig gleichen chemischen Verhaltens nur auf physikalischem Wege möglich.

Und nun zur Elementumwandlung, deren Studium und Aufklärung erst zu den modernen Vorstellungen über den Atombau führte, wie umgekehrt die Elementumwandlung nur aus der Kenntnis des Atombaus verständlich wird. Die natürliche Elementumwandlung vollzieht sich bei den in der Natur vorkommenden radioaktiven, d. h. spontan ohne äußere Energiezufuhr strahlenden Elementen; sie läuft ab unabänderlich und unbeeinflussbar wie eine Uhr höchster Präzision über viele Jahrmillionen oder auch rasend schnell in kleinsten Bruchteilen einer Sekunde. Diese radioaktive Strahlung wurde 1896 von *Becquerel* in Paris an dem nur sehr schwach strahlenden Element Uran entdeckt. 1898 folgte der aufsehenerregende Bericht des Ehepaares *Curie* in der Académie française über die Entdeckung von zwei weiteren, unvergleichlich viel stärker strahlenden Elementen, dem Polonium und dem Radium im Joachimsthaler Uranerz — eine

unerhörte Leistung; denn wir wissen heute, daß 7000 kg Uranerz weniger als 1 g Radium enthalten und noch wesentlich weniger Polonium. Dieser Nachweis kleinster, ja sogar unwägbar kleiner Mengen ist nur möglich, weil die Strahlungsmessung nach Art und Intensität als Nachweismethode millionenfach empfindlicher ist als jede Identifizierung auf chemischem Wege. Die Physik hat diese Methode derart verfeinert, daß selbst einzelne Atome registriert werden können; sie ist schlechthin Grundlage der experimentellen Atomphysik von heute.

Die Erscheinung der radioaktiven Strahlung wurde in etwa 15-jähriger Arbeit zahlreicher Forscher von Weltruf im Sinne einer unter gleichzeitiger Abgabe gewaltiger Energiemengen sich vollziehenden spontanen Elementumwandlung geklärt. So gibt das strahlende Uranatom mit der Protonenzahl 92 einen Heliumkern mit der Protonenzahl 2 ab und geht dabei in ein wiederum strahlendes Element der Protonenzahl 90, also in Thorium, genauer in ein Thoriumisotop über. Nach dem gleichen Vorgang verwandelt sich Radium in das Edelgas Radon. Die aus dem Uran- oder Radiumatom mit einer Geschwindigkeit von 17 000 km/sek herausfliegenden Heliumkerne werden als  $\alpha$ -Strahlen bezeichnet. Die freiwerdenden Energiebeträge sind millionenfach größer als die bei normalen chemischen Umsetzungen in Erscheinung tretenden Wärmemengen. Die radioaktiven Zerfallsreihen des Urans und des Thoriums, in denen die nacheinander entstehenden Elemente genetisch angeordnet sind, führen über Radium, das Edelgas Radon, das Polonium und einige andere elementare Glieder zu nicht strahlenden, inaktiven Isotopen des Elements Blei.

Die natürliche Elementumwandlung bedeutete zweifellos für den forschenden Geist eine Herausforderung zur künstlichen Umwandlung im Experiment.

Zahlreiche Versuche etwa durch die hohe Temperatur des elektrischen Lichtbogens eine solche zu erzwingen, blieben zunächst erfolglos. Die erste, eben schon erwähnte Elementumwandlung glückte 1919 Rutherford bei der Beschießung von Stickstoff mit  $\alpha$ -Teilchen aus der radioaktiven Strahlung. Er konnte nachweisen, daß dabei einerseits Protonen, andererseits ein Isotop des Sauerstoffs gebildet werden. Voraussetzung ist, daß der Kern des Stickstoffatoms selbst getroffen wird, was auf etwa 50 000  $\alpha$ -Teilchen nur einmal eintritt. Seit dieser ersten künstlichen Elementumwandlung sind bis heute nach diesem Prinzip hunderte derartiger Kernreaktionen durchgeführt worden. Die moderne Physik ist in hohem Maße von den natürlichen  $\alpha$ -Teilchen unabhängig geworden; sie stellt die Elementarteilchen

selbst her und beschleunigt sie in stärksten elektrischen Feldern auf Geschwindigkeiten von Zehntausenden von Kilometern pro Sekunde. Ihre kinetische Energie ist um ein Vielfaches größer als die der natürlichen  $\alpha$ -Teilchen. Nun ist endlich auch der alte Traum ungezählter alchemistischer Adepten in freilich sehr nüchterner Weise in Erfüllung gegangen. Das Rezept lautet: Man beschieße das Quecksilberisotop vom Atomgewicht 196 mit Neutronen, so verwandelt es sich in Gold. Die Wirtschaftlichkeit dieses Prozesses ist jedoch noch weit aussichtsloser als die Goldgewinnung aus Rheinkies.

Es ist verständlich, daß bei der künstlichen Elementumwandlung zahlreiche in der Natur nicht nachweisbare Isotope festgestellt werden konnten, so daß die Gesamtzahl der Isotopen dadurch beträchtlich vermehrt wurde. Dabei gelang es dem Ehepaar J o l i o t - C u r i e im Jahre 1934 erstmalig, radioaktive Isotope von Elementen herzustellen, die in ihrem natürlichen Vorkommen keinerlei Radioaktivität zeigen, beispielsweise radioaktiven Phosphor oder radioaktives Natrium und viele andere. Dieser Entdeckung kommt für die moderne Forschung auf dem Gebiete der Chemie, der Biologie, der Medizin und der Werkstoffkunde höchste Bedeutung zu, weil damit chemische Umsetzungen oder biologische Vorgänge mit den Methoden der radioaktiven Messung verfolgt werden können, die millionenfach empfindlicher sind als jeder normale Nachweis, der zudem meist die Zerstörung der Substanz zwangsläufig mit sich bringt. Allen natürlichen und ebenso den sehr zahlreichen künstlichen Elementumwandlungen ist gemeinsam, daß die dabei entstehenden neuen Elemente stets Nachbarn des Ausgangselements im periodischen System sind. Das ist verständlich, da das sich wandelnde Atom stets nur 1  $\alpha$ -Teilchen oder 1 Proton oder 1 Elektron abgibt, das, nebenbei bemerkt, aus dem Zerfall eines Neutrons in 1 Proton und 1 Elektron stammt.

Ich komme nun zu dem Sonderfall der Beschießung des Urans mit Neutronen und damit zu einer im höchsten Maße aufregenden Entdeckung, die in logischer Folge innerhalb weniger Jahre zur Atombombe und zum Prinzip der Atomkraftmaschine führte und deren weltweite Wirkung in Politik und Wirtschaft auch heute noch nicht abschätzbar ist.

Der jüngst verstorbene italienische Physiker F e r m i kam 1934 auf Grund von Beobachtungen bei der Beschießung von Uran mit Neutronen zu dem Schluß, daß dabei bisher unbekannte Elemente mit einer Ordnungszahl größer als 92 entstehen, also Elemente, die die Reihe der bisher bekannten über das Uran hinaus verlängern. Sie werden daher als Trans-Urane bezeichnet. In den folgenden Jah-

ren führte Otto Hahn mit Lise Meitner und Fritz Straßmann im Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin-Dahlem umfassende Versuche in gleicher Richtung durch und kam zunächst wie Fermi zu dem Ergebnis, daß beim Neutronen-Beschuß von Uran und bei den anschließenden, radioaktiv bedingten Folgereaktionen Transurane mit der Ordnungszahl 93—96 gebildet werden. Und dann finden wir im Januar 1939 in den Naturwissenschaften eine Mitteilung von Hahn und Straßmann, aus der ich wörtlich zitiere: „Nun müssen wir aber noch auf einige neuere Untersuchungen zu sprechen kommen, die wir der seltsamen Ergebnisse wegen nur zögernd veröffentlichen.“ Dann wird auf rein chemischer Grundlage gezeigt, daß sich beim Neutronen-Beschuß von Uran Barium bildet. Es heißt dann weiter: „Als Chemiker müßten wir aus den kurz dargelegten Versuchen diesen Schluß ziehen, als der Physik in gewisser Weise nahestehende „Kern“-chemiker können wir uns zu diesem allen bisherigen Erfahrungen widersprechenden Sprung noch nicht entschließen. Es könnte doch noch eine Reihe seltsamer Zufälle unsere Ergebnisse vorgetäuscht haben.“ Wenige Wochen später eine neue Mitteilung, in der es kurz und lapidar heißt: „Die Entstehung von Bariumisotopen aus Uran wurde endgültig bewiesen.“ Das Ergebnis der nächsten Arbeit ist in dem einen Satz zusammengefaßt: „Das Zerplatzen des Urans in Xenon- und Strontiumisotope wurde experimentell bewiesen.“

Was war geschehen? Uran hat die Ordnungszahl 92, Strontium 38, Xenon 54;  $54 + 38$  gibt 92. Die Uranspaltung und damit das Prinzip der Atombombe und Atomkraftmaschine war gefunden. Die wissenschaftliche Welt horchte auf; die Mitteilungen aus Deutschland wirkten auf die Atomlaboratorien in Europa und Amerika wie eine Fanfare, wie ein Signal zum internationalen Großangriff auf das Uran. Nach knapp  $1\frac{1}{2}$  Jahren war alles Wesentliche der Uranspaltung geklärt.

Ich gebe einen kurzen Überblick über diese Erkenntnisse: Das Uran ist ein relativ seltenes, aber schon seit 1789 bekanntes Element. Die klassischen Lagerstätten in Joachimsthal in Böhmen und im Katanga-Distrikt von Belgisch-Kongo wurden bislang schon zur Gewinnung des in kleinster Menge darin enthaltenen Radiums abgebaut. Für das Uran selbst bestand bis 1940 praktisch keine technische Verwendung. Heute wird in aller Welt fieberhaft nach Uranerzen gesucht.

Das Uran ist ein Mischelement; es besteht fast ausschließlich aus zwei Isotopen Atomarten in allerdings sehr ungleichen Anteilen, nämlich aus 99,3% Uran 238 und nur 0,7% Uran 235. Die beiden Isotopen U 235 und U 238 reagieren bei Neutronenbeschuß in sehr verschiedener Weise. Beschießt man Uran 235, wie es heute in erheb-

lichen, wenn auch unbekanntem Mengen aus dem natürlichen Uran abgetrennt wird, mit Neutronen, so tritt die von Hahn entdeckte Uranspaltung in zwei einigermaßen gleiche Spaltstücke ein. Als solche sind heute etwa 30 verschiedene Elemente mit Ordnungszahlen zwischen 30 und 64 nachgewiesen. Bisher nicht erwähnt, aber von größter Bedeutung ist, daß bei der Spaltung eines Uranatoms auch noch 2 bis 3 Neutronen frei werden. Diese 2 bis 3 Neutronen spalten ihrerseits 2 bis 3 weitere Uranatome, welche nun schon 4 bis 9 freie Neutronen liefern. Die einmal eingeleitete Uranspaltung läuft also von selbst in Form einer Kettenreaktion progressiv ungeheuer schnell weiter unter gleichzeitiger Freimachung ungeheuerlicher Wärmemengen, die an einem Punkt lokalisiert gewaltigste Druckwellen der Luft zur Folge haben. Was ich Ihnen geschildert habe, ist die klassische, aus Uran 235 bestehende Atombombe, wie sie in den USA während des zweiten Weltkrieges hergestellt und als erste angewendet wurde. Sie muß, damit die Kettenreaktion nicht abreißt, ein nicht näher bekanntgegebenes Mindestgewicht von etwa 10—30 kg haben, die also im kleinsten Bruchteil einer Sekunde viele Milliarden Kilokalorien entwickeln und damit die Explosionswirkung von einigen Tausend Tonnen Sprengstoff haben.

Es kommt hinzu, daß die Spaltstücke des Urans 235 ausnahmslos in Form von meist sehr stark radioaktiven Isotopen in Erscheinung treten und damit die gefürchtete radioaktive Verseuchung bewirken.

Die Urankraftmaschine beruht auf dem beherrschten, gesteuerten Ablauf der Hahn'schen Uranspaltung. Sie besteht prinzipiell aus zwei Teilen, dem mit Uran und einer Neutronenbremssubstanz, meist Graphit, abwechselnd beschickten Atommeiler oder Uranbrenner, in dem die Spaltung gezähmt und friedlich abläuft und aus einer Anlage zur Überführung der im Atommeiler erzeugten Wärme in elektrische Energie. Ihr wirtschaftlicher Ausbau erfordert zur Überwindung der sehr beträchtlichen Schwierigkeiten die intensive Zusammenarbeit von Physikern, Ingenieuren und Chemikern. Der Atommeiler kann nicht nur mit dem Uran 235 betrieben werden, sondern auch mit dem gewöhnlichen Uran.

Ganz anders als U 235 reagiert das Uranisotop 238 beim Neutronenbeschuß. Die Aufklärung dieser Reaktion erforderte stärkste Strahlungsquellen, wie sie Otto Hahn niemals zur Verfügung standen. Sie gelang erstmalig 1940 amerikanischen Forschern, von denen ich nur zwei Namen Mc Millan und Seaborg nenne. Diese Reaktion liefert nun tatsächlich Elemente jenseits des Urans, erste Vertreter der so lange vergeblich gesuchten Transurane und zwar zunächst das Element Nr. 93, das den Namen Neptunium erhielt.

Durch eine besondere Abtrennungsmethode konnte 1942 die Existenz des Neptuniums auch im Berliner Institut bestätigt werden. Es ist radioaktiv und geht in kürzester Zeit in das zwar ebenfalls radioaktive, aber langlebige Element Nr. 94 — Plutonium — über. Heute kennen wir nicht weniger als 8 Transurane, 8 Elemente von Menschengeist und Menschenhand geschaffen, nicht in der Natur vorkommend, alle 8 amerikanischer Provenienz. Von diesen kommt dem Plutonium, das im Atommeiler aus gewöhnlichem Uran in Mengen von vielen Kilogrammen dargestellt werden kann, größte Bedeutung zu; es unterliegt unter der Einwirkung von Neutronen der gleichen Kettenreaktion wie Uran 235 und wurde während des letzten Weltkrieges als zweite Atombombe am 9. August 1945 über Nagasaki abgeworfen.

Es bleibt noch übrig, ein Wort zu sagen über die Auswirkung der modernen Theorie des Atombaus und der Erscheinung der Isotopie auf das periodische System der Elemente. Die Tatsache, daß die größere Zahl der Elemente als Isotopengemisch in der Natur vorliegt und daß somit das klassische Atomgewicht nur einen durch den mengenmäßigen Anteil bestimmten Mittelwert der Isotopengewichte darstellt, hat dieses Atomgewicht als ordnendes Prinzip des Systems stark entwertet. An seine Stelle tritt in der modernen Chemie die für alle Isotope eines Elements stets gleiche Protonenzahl. Das rätselhafte periodische Gesetz, das durch die chemische Ähnlichkeit der in einer Gruppe zusammengefaßten Elemente dokumentiert wird, findet seine großartige, nachträgliche Erklärung durch die Erkenntnisse über den gesetzmäßigen Aufbau der Elektronenhülle, da der chemische Charakter eines Elements entscheidend durch Zahl und Anordnung der äußersten Elektronen bestimmt wird. So haben beispielsweise sämtliche 6 Alkalimetalle — die bekanntesten Vertreter dieser Gruppe sind Natrium und Kalium — nur ein einziges Elektron auf ihrer äußersten Elektronenschale.

1920 harrten von den vom System geforderten 92 Elementen noch 6 ihrer Entdeckung. Heute ist das System lückenlos: 2 Elemente wurden auf röntgenspektroskopischem Weg 1923 und 1925 entdeckt, 2 noch fehlende radioaktive Elemente wurden 1939 und 1949 als nur in geringster Menge in Erscheinung tretende Zwischenglieder der radioaktiven Zerfallsreihen festgestellt. Die beiden Elemente Nr. 43 Technetium und Nr. 61 Promethium liefert der Uranmeiler als Spaltprodukte von U 235 in wägbarer Menge. Zu diesen 92 Elementen kommen noch

8 künstliche Elemente. Die Darstellung weiterer Elemente oberhalb 100 erscheint durchaus möglich.\*)

Das ist — in groben Strichen gezeichnet — der Weg der Elemente von dem spekulativen Begriff der griechischen Philosophie bis zur Synthese des Jubiläums-Elements Nr. 100 im Jahre 1954.

Unser aller Anliegen muß es sein, daß diese gefährlichen Elemente nur friedlicher Leistung dienen. Drohend steht im Hintergrund mit neuer Bedeutung das Schillerwort: „denn die Elemente hassen das Gebild von Menschenhand“.

\*) Nachtrag: Im ersten Halbjahr 1955 berichteten A. Ghiorso und G. T. Seaborg in Chem. Engng. News 33 (1955) über die Entdeckung des Elements 101 (Mendelevium) durch Bestrahlung von Element 99 mit  $\alpha$ -Teilchen der Energie 41 MeV mit Hilfe eines Cyclotrons.

B 9066,0

