

# Lise Meitner, Otto Hahn und Fritz Straßmann

Mainz, 22. Februar 2002



Lise Meitner bei einem Vortrag in Bonn (1949),  
Otto Hahn und Fritz Straßmann  
im Deutschen Museum München  
vor dem Arbeitstisch des Berliner Teams (1962)



GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

uni  
ver  
sität  
mainz

Mit dem Programm „Historische Stätten der Wissenschaft“ würdigt die Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) Leistungen von geschichtlichem Rang in der Chemie. Als Orte der Erinnerung werden Wirkungsstätten beteiligter Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen in einem feierlichen Akt ausgezeichnet. Eine Broschüre bringt einer breiten Öffentlichkeit deren wissenschaftliches Werk näher und stellt die Tragweite ihrer Arbeiten im aktuellen Kontext dar. Ziel dieses Programms ist es, die Erinnerung an das kulturelle Erbe der Chemie wach zu halten und die Chemie und ihre historischen Wurzeln stärker in das Blickfeld der Öffentlichkeit zu rücken.

Zu den epochalen Ereignissen in der Chemie gehören die gemeinsamen Arbeiten von Lise Meitner, Otto Hahn und Fritz Straßmann. Die Gesellschaft Deutscher Chemiker würdigt sie am 22. Februar 2002 in einer festlichen Veranstaltung an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz durch Enthüllen einer Gedenktafel am Institut für Kernchemie mit folgender Inschrift:

Diese Tafel erinnert an die gemeinsamen Arbeiten von **Lise Meitner, Otto Hahn und Fritz Straßmann**

Sie führten zur Entdeckung der Kernspaltung durch die Chemiker Otto Hahn (1879–1968) und Fritz Straßmann (1902–1980) am 17. Dezember 1938 in Berlin und deren Deutung durch die Physiker Lise Meitner (1878–1968) und Otto Robert Frisch (1904–1979) am 31. Dezember 1938 in Kungälv/Schweden.

Enthüllt am 22. Februar 2002, dem 100. Geburtstag von Fritz Straßmann, der von 1946 bis 1970 an der Universität Mainz gelehrt und geforscht hat.



## Lebensdaten

### Lise Meitner

7.11.1878 geboren in Wien, Vater Rechtsanwalt, Jugend in Wien, Ausbildung als Französischlehrerin  
 1901–06 Physikstudium an der Universität Wien, Promotion  
 1907 Wechsel an die Berliner Universität, Beginn der Zusammenarbeit mit Otto Hahn  
 1912 Assistentin von Max Planck  
 1913 Wissenschaftliches Mitglied des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie Berlin (KWI)  
 1915–16 Röntgenschwester in der österreichischen Armee  
 1919 Titularprofessorin am KWI  
 1922 Habilitation für Physik als zweite Frau in Deutschland, Abteilungsleiterin am KWI  
 1926 außerordentliche Professur an der Universität Berlin  
 Juli 1938 Flucht nach Holland, dann Gast am Nobel-Institut für Physik Stockholm  
 1946 Gastprofessur an der Catholic University in Washington, D.C.  
 1947 Professur an der Technischen Hochschule Stockholm  
 1954 Ruhestand  
 1960 Übersiedlung nach Cambridge/England  
 1966 Enrico-Fermi-Preis  
 27.10.1968 Lise Meitner stirbt in Cambridge

### Otto Hahn

8.3.1879 geboren in Frankfurt/M., Vater Glasermeister, Jugend in Frankfurt  
 1897–1901 Chemiestudium an den Universitäten Marburg und München, Promotion in Marburg  
 1902–04 Assistent in Marburg  
 1904–05 Studienaufenthalte in London und Montreal  
 1906 Aufnahme ins Chemische Institut der Berliner Universität  
 1907 Habilitation  
 1910 außerordentlicher Professor  
 1912 Leiter einer Abteilung für Radioaktivität am KWI  
 1913 Heirat mit Edith Junghans, ein Sohn Hanno (1922)  
 1915–18 Kriegsdienst in einer Spezialeinheit für den Gaskampf  
 1924 Wahl in die Preußische Akademie der Wissenschaften  
 1928 Direktor des KWI  
 1933 Gastprofessur an der Cornell University in Ithaka/New York; Austritt aus der Universität Berlin  
 1944 Zerbombung des KWI, Notquartier in Tailfingen/Württemberg  
 1945 Internierung in Farmhall/England; Nobelpreis für Chemie  
 1946–60 Präsident der Max-Planck-Gesellschaft  
 1959 Ehrenbürger der Stadt Frankfurt/M.  
 1966 Enrico-Fermi-Preis  
 28.7.1968 Otto Hahn stirbt in Göttingen

### Fritz Straßmann

22.2.1902 geboren in Boppard, Vater Gerichtsbeamter, Jugend in Düsseldorf  
 1920–29 Chemiestudium und Promotion an der Technischen Hochschule Hannover  
 1929–32 Stipendiat am KWI, danach dort unbezahlt arbeitend  
 1935 Anstellung als Assistent  
 1937 Heirat mit Dr. Maria Heckter, ein Sohn Martin (1940)  
 1944 Umzug nach Tailfingen  
 1946 Leiter der Chemischen Abteilung des KWI, dessen Überführung nach Mainz; ordentlicher Professor und Leiter des Chemischen Instituts der Universität Mainz  
 1950 Zweiter Direktor des KWI, jetzt Max-Planck-Institut für Chemie (MPI)  
 1953 Ausscheiden aus dem MPI, Konzentration auf die Universität  
 Maria Straßmann stirbt  
 1959 Heirat mit Irmgard Hartmann  
 1966 Enrico-Fermi-Preis  
 1967 Inbetriebnahme des Forschungsreaktors der Universität  
 1970 Emeritierung  
 1972 Ehrenbürger der Stadt Mainz  
 22.4.1980 Fritz Straßmann stirbt in Mainz

## RADIOAKTIVITÄT UND CHEMIE

Bereits zwei Jahre nachdem Henri Becquerel 1896 eine von Uran ausgehende, durchdringende Strahlung beobachtet hat, ergeben sich daraus Konsequenzen für die Chemie: Zwei neue chemische Elemente, Polonium (Element 84) und Radium (88), werden anhand solcher radioaktiver Strahlen entdeckt. Dem Ehepaar Marie und Pierre Curie war aufgefallen, dass einige Uranminerale weit stärker strahlen als der Urangehalt erklären lässt. Sie zerlegen Pechblende, natürliches Uranoxid, mit den Verfahren der chemischen Analytik in Fraktionen und folgen dabei der Radioaktivität. So finden sie 1898 das tellurähnliche Polonium und das dem Barium eng verwandte Radium als stark radioaktive Bestandteile.

Mit dem Radium beschäftigen sie sich eingehend. Beim Auskristallisieren von Bariumsalzen reichert Radium sich in den ersten Fraktionen an. Durch Tausende solcher Kristallisationen erhält Marie Curie schließlich 120 mg reines Radiumchlorid, mit dem sie 1902 das Atomgewicht bestimmt. Ein neuer Zweig der Chemie, die Radiochemie, entwickelt sich und wird populär, als Radium zur Strahlentherapie des Krebses herangezogen wird.

Neue Radioelemente, Actinium (89) und Radon (86), kommen hinzu. Radon, das schwerste Edelgas, zeigt höchst seltsame Eigenschaften; aus Thorium freigesetzt, zerfällt es in wenigen Minuten, aber ebenso rasch wird es in der Quelle wieder nachgebildet – gibt es eine spontane Umwandlung chemischer Elemente? Weitere solche Mutter-Tochter-Paare werden chemisch identifiziert. Ernest Rutherford und Frederick Soddy ziehen 1902 das unerhörte Fazit: Radioaktive Elemente sind instabil; sie zerfallen unter Freisetzung

von Strahlen in andere Radioelemente, solange bis ein stabiles Element erreicht ist.

Die natürlichen radioaktiven Spezies lassen sich so in drei Zerfallsreihen ordnen, die vom Uran (92), Thorium (90) und Actinium (89) aus schrittweise zu stabilem Blei (82) führen; beim  $\alpha$ -Zerfall – Emission von Helium – um zwei Elementschritte nach links im Periodensystem, beim  $\beta$ -Zerfall – Emission von Elektronen – um einen nach rechts. Jedes Radioelement ist durch mehrere Spezies vertreten, die chemisch identisch, in den radioaktiven Eigenschaften aber verschieden sind: die Isotopie ist entdeckt. Radioaktive Isotope können somit genutzt werden, um anhand ihrer Strahlen als Indikatoren chemische Vorgänge zu verfolgen, Basis der überaus fruchtbaren Indikatormethode.

Erstaunlich hoch ist die beim radioaktiven Zerfall freigesetzte Wärme, millionenfach größer als bei chemischen Reaktionen. Nur ein Prozess unterhalb der atomaren Ebene kann dies bewirken. Den Ort des Geschehens – den winzigen, äußerst massiven, positiv geladenen Atomkern – erkennt Ernest Rutherford 1911 aus Streudaten von  $\alpha$ -Teilchen an Metallfolien. 1919 gelingt ihm die erste künstliche Elementumwandlung von Stickstoff in Sauerstoff durch Stöße mit Heliumprojektilen, den  $\alpha$ -Strahlen radioaktiver Quellen. Aber auch die Atomkerne erweisen sich schließlich als aus zwei Teilchen zusammengesetzt, aus positiv geladenen Protonen und ungeladenen Neutronen. Von den Protonen hängt es ab, welches Element, von den Neutronen, welches Isotop vorliegt.

## DAS BERLINER TEAM

Otto Hahn, ausgebildet als organischer Chemiker, kommt 1904 während eines privaten Aufenthalts in London bei William Ramsey zufällig zur Radioaktivität, findet daran Gefallen und bildet sich bei Rutherford in Montreal weiter. Erfolge beim Entwirren der komplexen Thorium-Zerfallsreihe qualifizieren ihn für eine Habilitation bei Emil Fischer an der Berliner Universität; so wird die Radioaktivitätsforschung 1906 im Souterrain des Chemischen Instituts heimisch. Hahns erste Entdeckung in Berlin ist das langlebige Radium-228, Mesothor I genannt, das zu einer billigeren Alternative zum Radium-226 der Curies wird; dies macht Hahn bekannt.

Lise Meitner trifft Otto Hahn 1907 an der Berliner Universität, wo sie, bereits promoviert, theoretische Physik studiert. Von Wien her hat sie Erfahrungen mit Radioaktivität, und so vereinbaren beide eine Zusammenarbeit, die über drei Jahrzehnte währen sollte. In mühsamen Kristallisationen stellen sie Radium-228 aus Abfällen der Thoriumfabrikation rein dar. Die Studien an den Zerfallsreihen werden nun auf die Eigenschaften der Strahlen ausgedehnt. Ab 1912 übernimmt Otto Hahn die Abteilung für Radioaktivität am neu errichteten Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin; Lise Meitner wird zunächst Gast, dann Mitglied. Diese Periode gipfelt 1918 in der Entdeckung des Elements 91,



Lise Meitner, Otto Hahn und Fritz Straßmann  
(von links) Mitte der dreißiger Jahre

Protactinium, der Muttersubstanz des Actiniums. Dann wendet Lise Meitner sich stärker der aufblühenden Kernphysik zu, Otto Hahn den Anwendungen der Radioaktivität auf chemische und geochemische Probleme; dazu gehört die Frage, ob chemische Elemente sich anders als gewohnt verhalten, wenn sie in extrem geringen Mengen vorliegen.

Fritz Straßmann kommt 1929, soeben promoviert, als Stipendiat zu Otto Hahn, der ihm Studien zur angewandten Radioaktivität überträgt. Er fällt durch seine Fähigkeiten in

der chemischen Analytik selbst ausgefallener Elemente auf. Otto Hahn und Lise Meitner ziehen ihn deshalb zu einem Projekt hinzu, das sie 1934 beginnen: der Suche nach Transuranen, Elementen schwerer als Uran.

Das Team ist eine ideale Konstellation. Otto Hahn kennt sich mit Zerfallsreihen, klassischen Radioelementen und der Chemie winzigster Mengen aus, Lise Meitner mit den physikalischen Eigenschaften der Atomkerne und der Messtechnik radioaktiver Strahlen. Beide sind in ihrer Mentalität grundverschieden. Otto Hahn geht Probleme intuitiv an, Lise Meitner eher logisch. Er, einer Handwerkerfamilie entstammend, ist ein einfacher Charakter, stets guter Dinge, charmant, gesellig; sie, in einer musisch orientierten Umgebung aufgewachsen, ist eher zurückhaltend, fast scheu. Der stille und bescheidene Fritz Straßmann fügt sich gut ein. Er sorgt für die Kontinuität der Arbeit, die sich bald ausweitet. Denn nun geht es um andere Elemente als in der klassischen Radiochemie; Straßmann ist bereit, sich damit auseinander zu setzen. Was die drei zudem verbindet, zugleich aber auch isoliert, ist ihre Gegnerschaft zum Nationalsozialismus, der sich auch im Institut breit macht.

Aus dieser Zeit ist kein Bild überliefert, das alle drei gemeinsam zeigt; man muss zu einer Montage greifen, oder aber zu einer viel späteren Aufnahme.



... und 1956 in Mainz

1																	18
H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Md 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La 57 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84		Rn 86
	Ra 88	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	93	94	95	96								

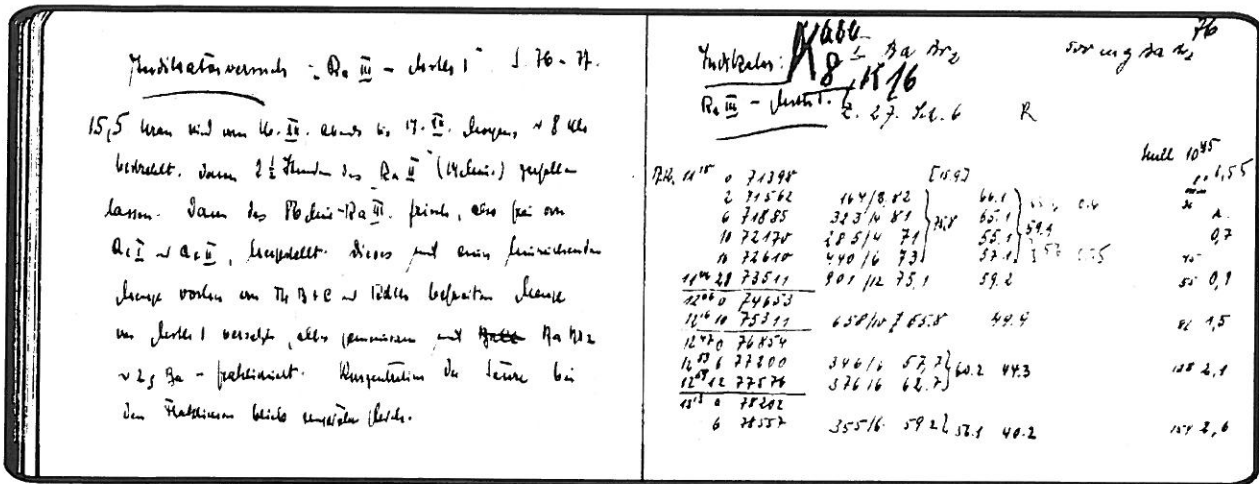
Das Periodensystem der chemischen Elemente 1934, wie es vom Uran (rot) ausgehend zu den Transuranelementen (blau) erweitert werden sollte, und was schließlich dabei herauskam, nämlich die Spaltung in viel leichtere Elemente (grün).

## CHRONIK EINER ENTDECKUNG

Im Frühjahr 1934 sind fast alle Lücken im Periodensystem geschlossen. Warum aber bricht die Reihe der Elemente beim 92. Element, dem Uran, ab? Liegt es an der Instabilität der Atomkerne? Lässt sich die Reihe fortsetzen, wenn schon nicht in der Natur, dann durch künstliche Umwandlung von Elementen – durch Alchemie des 20. Jahrhunderts? Enrico Fermi und seine Gruppe in Rom zeigen, wie dies gelingen könnte, durch einen Kernprozess nämlich, den sie an zahlreichen Elementen erprobt haben: Neutronen lagern sich leicht an Atomkerne an und überführen diese in radioaktive Isotope, die durch  $\beta$ -Zerfall in das nächst schwerere Element übergehen. Falls dies auch beim Uran funktionieren würde, müsste so Element 93 entstehen.

Wie aber lässt sich das Vorliegen des Elements 93 beweisen? Dies kann – damals – nur chemisch geschehen, gemäß seiner Position im Periodensystem. Uran ist in die Gruppe 6 eingeordnet, und Element 93 sollte somit in die Gruppe 7 fallen. Seine chemischen Eigenschaften müssen denjenigen entsprechen, die man für das schwerste Element der 7. Gruppe erwartet. Was Fermi und seine Mitarbeiter dazu an Experimenten vorlegen, wirkt jedoch nicht überzeugend.

Das Berliner Team ist im Umgang mit solch winzigsten Substanzmengen erfahrener. Allerdings, der chemische Beweis für Element 93 ist ein vertracktes Problem, denn die 7. Gruppe ist eine dunkle Region. Rhenium (75), direkt über Element 93 stehend und daher am engsten verwandt, ist erst



Protokoll des historischen Experiments am 17. Dezember 1938. Für den chemischen Ablauf genügen acht Zeilen auf der linken Seite von Otto Hahns Hand: 15,5 g Uran werden über Nacht mit Neutronen bestrahlt. Gegen 10:30 h wird das „Radium III“ daraus chemisch abgetrennt und mit natürlichem Radium-228 (Mesothor 1) vermischt. Daraus wird Bariumbromid in drei aufeinander folgenden Fraktionen ausgefällt. Um 11:15 h beginnt die Messung der Radioaktivität, wie für die erste Fraktion rechts von Fritz Straßmann eingetragen ist. Noch am gleichen Tag zeichnet sich das unerwartete Ergebnis ab, gezeigt sind nur die oberen Hälften der Seiten.

seit 1925 bekannt und noch immer eine Rarität. Ein Element 43, Masurium, existiert gar nur als Phantom der Entdecker. Dennoch sprechen die chemischen Experimente des Berliner Teams nachdrücklich dafür, dass Element 93 identifiziert ist. Mehr noch, durch radioaktiven Zerfall scheinen daraus die Elemente 94, 95 und 96 hervorzugehen, Verwandte der Platinmetalle Osmium, Iridium und Platin. Die Transurane sind in zwei Zerfallsreihen angeordnet, die von kurzlebigen Uranisotopen gespeist werden. Dies ist der Stand Mitte 1938 nach einer Fülle von chemischen und physikalischen Experimenten.

Da kommt es zu Zäsuren. Im Juli 1938 flieht Lise Meitner aus Deutschland, nachdem sie durch den Anschluss Österreichs unter die Rassengesetze des Dritten Reichs fällt; über Holland gelangt sie nach Stockholm. Mitte Oktober attackiert Irène Curie – Marie Curies Tochter – mit ihrem Postdoktoranden Paul Savitch massiv die Berliner Resultate. Sie behaupten, ein Element 93 mit ganz anderen chemischen Eigenschaften gefunden zu haben. Aus den Details schließt Fritz Straßmann, dass es sich auch um etwas Trivialeres, nämlich ein Gemisch von Radium und Actinium, handeln könne. Am einfachsten ist dies für Radium zu prüfen.

Nun beginnt der „Countdown“ zur Entdeckung der Kernspaltung. Binnen weniger Tage lokalisieren Hahn und Straßmann den von Curie und Savitch beschriebenen Strahler beim Radium (88) und dessen Zerfallsprodukt Actinium (89). Allerdings identifizieren sie sogar drei solcher Radium-Actinium Paare, und dies, obwohl es nicht recht zu verstehen ist, wie Uran sich unter diesen Bedingungen in Radium umwandelt. Selbst im Gral der theoretischen Kernphysik in Kopenhagen erhält Otto Hahn keine Erklärung, als er dort Mitte November 1938 Niels Bohr und Lise Meitner berichtet.

Also muss noch eingehender geprüft werden, ob Radium vorliegt, nämlich durch fraktionierte Kristallisation von Bariumsalzen. Festgehalten sind die historischen Experimente im Protokollheft „Chem. II“, einer unscheinbaren Kladde, 16x20 cm, die im Deutschen Museum München zu besich-

tigen ist. Die Tests verlaufen indessen enttäuschend: Das aus dem Uran erzeugte Radium reichert sich nicht wie erwartet in den ersten Fraktionen an, sondern verteilt sich gleichförmig auf alle Fraktionen.

Nun bleibt nur noch eines zu tun übrig: das künstliche Radium mit natürlichem Radium zu mischen und gemeinsam zu kristallisieren; dann muss sich zeigen, ob künstliches und natürliches Radium sich gleich verhalten.

Dieses Indikatorexperiment geschieht am 17. Dezember 1938, einem Samstag. Im Grunde ist es einfach, und so ist die Chemie in acht Zeilen protokolliert, und für den zeitlichen Verlauf der Radioaktivität in den drei nacheinander gefällten Fraktionen von Bariumbromid reicht jeweils eine Seite aus. Schon am Abend des gleichen Tages steht das Unerhörte fest: Das natürliche Radium findet sich, ganz wie erwartet, in der ersten Kristallfraktion stark angereichert, während das künstliche Radium aus Uran sich gleichförmig auf die drei Bariumfraktionen verteilt: es ist Barium. Nach Einfang eines Neutrons zerbricht der Urankern (92) in zwei kleinere Atomkerne, einer davon ist Barium (56).

Otto Hahn fasst das Ergebnis am Ende der Messprotokolle zusammen. Am späten Abend des 19. Dezembers berichtet er Lise Meitner und fragt nach einer Erklärung. Doch wartet er ihre Antwort nicht ab, sondern hängt die Neuigkeit an einen längeren Artikel über Radium aus Uran an, der bei den „Naturwissenschaften“ schon am 6. Januar 1939 erscheint.

Selten wohl ist eine Entdeckung dieses Rangs so eigenartig präsentiert worden. Die beiden Autoren teilen nur zögernd mit, was sie als Chemiker aus ihren Experimenten eigentlich schließen müssten – dass Barium vorliegt –, wozu sie sich aber als der Physik in gewisser Weise nahe stehende „Kernchemiker“ noch nicht entschließen können; seltsame Zufälle könnten die Ergebnisse vorgetäuscht haben. Vier Wochen später sind die Bedenken durch weitere, brillante chemische Experimente ausgeräumt, und mit dem Strontium (38) ist auch das erste der zum Barium komplementären Bruchstücke des Urans gefunden.

Die Auswertung (siehe Kurvenblatt und beiliegende Zettel)  
 ergibt Fraktion I : II : III } für Msth 1:6  
 für Msth 66 : 24,5 : 11 } für Ra III 1:1,2  
 für Ra III ~ 80 : 70-(80) : 65-70 bei schlecht stimmenden Kurven!

Otto Hahns Fazit der Gehalte von „Radium III“ aus Uran und natürlichem Radium „Mesothor I“ in drei sukzessiven Fraktionen von Bariumbromid:

„Die Auswertung (siehe Kurvenblatt und beiliegende Zettel)  
 ergibt Fraktion I : II : III } für Msth 1:6  
 für Msth 66 : 24,5 : 11 } für Ra III 1:1,2  
 für Ra III ~80 : 70-(80) : 65-70 bei schlecht stimmenden Kurven!“

Lise Meitner verbringt den Jahreswechsel 1938/39 in Kungälv an der schwedischen Westküste mit ihrem Neffen Otto Robert Frisch, der als Kernphysiker bei Niels Bohr arbeitet. Nur ihr lässt Hahn eine Kopie des in Druck gehenden Textes zukommen. Bei einem Spaziergang im Schnee finden Meitner und Frisch eine Deutung für das, was ihnen da mitgeteilt wird.

Sie greifen auf ein schon vorhandenes Modell der Atomkerne zurück, in dem diese mit geladenen Flüssigkeitströpfchen verglichen werden. Gemeinsam ist beiden das Gegenüber von anziehenden und abstoßenden Kräften. Kerne werden durch die anziehende Kernkraft zwischen den Protonen und Neutronen zusammengehalten, trotz der abstoßenden elektrischen Kraft zwischen den Protonen. Beim Urankern ist der Zusammenhalt allerdings nur noch schwach. Eine kleine Störung wie das Eindringen eines Neutrons genügt, um den Kern zum Schwingen zu bringen und schließlich zum Zerreißen in zwei Bruchstücke, die sich mit großer Heftigkeit voneinander abstoßen.

Dabei wird mehr Energie freigesetzt als irgendein anderer Prozess zu liefern vermag, nämlich 200 Millionen Elektronvolt, wie Meitner und Frisch richtig abschätzen. Frisch beobachtet als Erster die energiereichen Bruchstücke durch ein physikalisches Experiment am 13. Januar 1939 in Kopenhagen und bestätigt so die Kernspaltung auf ganz andere Weise.

Die große Neuigkeit verbreitet sich binnen weniger Tage weltweit. Zahlreiche Forscher legen ihre Arbeit beiseite und wenden sich dem neuen Phänomen zu. Die Elemente 93 bis 96 des Berliner Teams erweisen sich bald als Radioisotope von Elementen aus der Mitte des Periodensystems, die aus der Kernspaltung hervorgehen. Was als Element 93 unter dem Rhenium stehend angesehen wurde, war das Element 43, das darüber steht. Dass Element 93 ganz andere

## KERNSPALTUNG IN RETROSPEKTIVE

Aus der Entdeckung entwickeln sich breite, bis heute lebendige Gebiete der Grundlagenforschung. Zum ersten Male erweisen sich Atomkerne als dynamische, bis zum Zerreißen verformbare Gebilde. Wie aber aus einem kompakten Kern schließlich zwei Bruchstücke hervorgehen und welche das sind, ist ein komplexes Geschehen, das erst nach Jahrzehnten intensiver Studien verstanden wird.

chemische Eigenschaften hat als angenommen, stellt sich im Mai 1940 heraus, als Element 93, Neptunium, endgültig von Edwin McMillan und Philip Abelson an der University of California in Berkeley entdeckt wird. Es ist das Zerfallsprodukt des in Berlin identifizierten Uranisotops 239. Neptunium ist eng mit dem Uran verwandt und hat nichts mit Rhenium gemein. Zwischen den Elementen 92 und 93 nimmt das Periodensystem einen damals unvorhergesehenen Verlauf.

Was aber hat den Blick erfahrener Arbeitsgruppen – in Rom, Berlin, Paris und anderswo – so lange verstellt? Es war das Festhalten an zwei Prämissen, die wohl begründet schienen, sich aber dann doch als falsch herausstellten. Die erste betraf die Physik: Atomkerne würden bei Kernumwandlungen lediglich in benachbarte Elemente übergehen; was beim radioaktiven Zerfall so evident ist, wurde auch auf Kernreaktionen übertragen. Die zweite Prämisse betraf die Chemie: Transuranelemente seien Verwandte des Rheniums und der Platinmetalle; etwas anderes ließen die chemischen Eigenschaften der schwersten bekannten Elemente nicht möglich erscheinen. So trat die Kernspaltung schließlich bei Arbeiten zutage, die ein ganz anderes Ziel hatten. „In the end it was good solid chemistry that got things on the right track“ ist Otto Robert Frischs treffender Kommentar.

Nach Ende des Zweiten Weltkriegs findet sich das Berliner Team nicht mehr zusammen. Lise Meitner lehnt Angebote ab, an ihr früheres Institut, nun in Mainz etabliert, zurückzukehren. Otto Hahn übernimmt als Präsident der Max-Planck-Gesellschaft eine Schlüsselfunktion beim Wiederaufbau der Wissenschaft in Deutschland. Fritz Straßmann nimmt die Tradition des Berliner Teams am Institut für Kernchemie der Universität Mainz auf und führt sie mit seinen Studenten fort.

Aber auch die Bruchstücke selbst werden zu interessanten Forschungsobjekten. Diese exotischen Atomkerne enthalten weit mehr Neutronen als normale Kerne. Sie existieren nur für Sekunden oder gar Millisekunden und spielen dennoch eine zentrale Rolle beim Entstehen der chemischen Elemente in der Natur in gewaltigen Sternexplosionen, den Supernovae.

Die synthetischen Transurane, deren Entdeckung das Berliner Team zwar verfehlt, aber dennoch befördert hat, reichen mittlerweile bis hin zum Element 112; die Architek-

tur des Periodensystems hat sich dadurch völlig verändert. Unter dem Rhenium, wo 1934 das Element 93 eingeordnet wurde, steht jetzt Element 107, Bohrium, 1981 am Schwerionenbeschleuniger der GSI in Darmstadt entdeckt. Dass es chemisch dem Rhenium ähnelt, weiß man allerdings erst seit 2000, als die ersten Studien seiner Chemie gelangen.

Was aber 1938 an der Kernspaltung Wissenschaft und Öffentlichkeit am stärksten faszinierte, war die Aussicht, die in den Atomkernen gespeicherte Energie nutzbar zu machen. Die natürliche Radioaktivität war dazu als ein seltenes Phänomen nicht geeignet. Bei der Kernspaltung ist es hingegen möglich, den Energie liefernden Kernprozess in einer Kettenreaktion zu vervielfachen. Denn jede Spaltung setzt einige Neutronen frei, die weitere Spaltungen auslösen können.

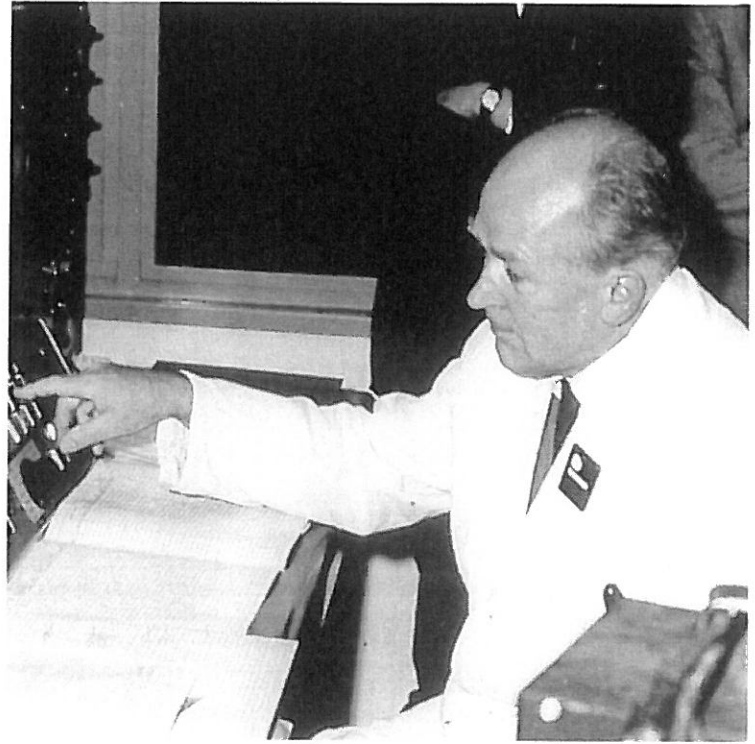
Nun wirkte sich aus, was man die Tragik der Entdeckung nennen möchte: dass sie am Vorabend eines Weltkriegs in einem Land geschah, dessen politische Führung aggressive Ziele verkündete und viele hervorragende Wissenschaftler vertrieb. Die militärischen Aspekte bekamen Vorrang, die Zeit geheimer Projekte begann.

Nach vielen Detailstudien wurde klar, dass ein Kernreaktor mit natürlichem Uran als Brennstoff nur funktionieren kann, wenn die Neutronen in reinem Graphit oder schwerem Wasser verlangsamt werden, um sie wirksamer zu machen. Der erste Kernreaktor ging am 2. Dezember 1942 in Chicago auf Natururan-Graphit-Basis in Betrieb, realisiert unter Enrico Fermis Regie. Innerhalb von nur vier Jahren war somit ein völlig neuartiges Phänomen in Technik umgesetzt – ein in der Geschichte einmaliger Vorgang. In Deutschland wurde hingegen die Schwerwasserlinie verfolgt, ohne dass bis Kriegsende eine selbsterhaltende Kettenreaktion erreicht wurde.

Gleichzeitig wurden im Manhattan-Projekt der USA mit ungeheurem Aufwand Entwicklung und Bau der Atombombe vorangetrieben, sogar in zwei Versionen des atomaren Sprengstoffs: mit reinem Uran-235, das durch Isotopentrennung aus seinem 0,7 % Anteil im Natururan gewonnen werden muss, und mit Plutonium-239, dem neuen Element 94, das sich einfacher chemisch aus in Reaktoren bestrahltem Uran isolieren lässt.

Im lose organisierten deutschen „Uranverein“ blieben Versuche zur Isotopentrennung von Uran-235 erfolglos. Dass ein Element 94 spaltbar sein könnte, wurde zwar vermutet, jedoch findet sich in den Laborjournalen von Otto Hahn und Fritz Straßmann kein Hinweis, dass sie – die wohl allein dazu in der Lage waren – jemals danach gesucht hätten. Vielmehr beschäftigten sie sich mit wenigen Mitarbeitern ausschließlich damit, Spaltprodukte zu identifizieren. Für den Uranverein war dies wohl ein Randthema, und so wurden alle Ergebnisse publiziert, anders als die einschlägigen Studien im Manhattan-Projekt. Einige dieser Spaltprodukte werden bis heute vor allem zur medizinischen Diagnostik in großem Umfang in Kernreaktoren erzeugt.

Mit der „Atoms for Peace“-Konferenz der Vereinten Nationen in Genf, 1955, gaben die Atomkräfte ihr Wissen für die zivile Nutzung der Kernspaltung in Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren frei. Die Medien berichteten



Fritz Straßmann am Steuerpult des Mainzer Forschungsreaktors, 1967

enthusiastisch über den Beginn des Atomzeitalters, in dem die Energieprobleme ein für allemal gelöst schienen. Zahlreiche Nationen starteten Aktionen, um ihren wissenschaftlichen und technischen Rückstand aufzuholen. Gleichzeitig aber eskalierte das atomare Wettrüsten mit oberirdischen Kernwaffentests, die bis in die sechziger Jahre radioaktiven Fallout weltweit verstreuten. Die Havarie des Reaktors in Tschernobyl/UdSSR im April 1986 diskreditierte die zivile Reaktortechnik, obwohl sie an einem veralteten Reaktortyp bei einem gewagten technischen Experiment eintrat und somit nichts über die Sicherheit moderner Kernkraftwerke aussagt.

Seit den neunziger Jahren werden die verschiedenen Formen der Energiegewinnung mehr und mehr unter ökologischen und klimatischen Aspekten betrachtet. Dass Kernreaktoren keine Treibhausgase produzieren, wird bei solchen Diskussionen kaum gewürdigt. In welchem Umfang die Kernenergie genutzt wird, hängt von politischen Strömungen und Entscheidungen ab. Zur Jahrtausendwende sind weltweit rund 440 Kernkraftwerke in 31 Ländern in Betrieb und 35 im Bau. In der Europäischen Union trägt die Kernenergie 35 Prozent des erzeugten Stroms bei, national gesehen sind es zwischen 75 Prozent in Frankreich und Null Prozent in Italien; Deutschland liegt nahe am Mittelwert.

Das technische Potenzial der Kernspaltung ist indessen noch lange nicht ausgeschöpft. So werden Kernkraftwerke entwickelt, bei denen eine Schmelze des Reaktorkerns grundsätzlich ausgeschlossen ist. In der Grundlagenforschung wird an Konzepten gearbeitet, radioaktive Abfälle durch Kernreaktionen zu „verbrennen“, vielleicht sogar gekoppelt mit der Erzeugung elektrischer Energie.

## Ausgewählte Literatur

### Originalarbeiten

Otto Hahn und Fritz Straßmann,  
Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans  
mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle, *Naturwissenschaften*  
**27**, 11-15 (1939)

Otto Hahn und Fritz Straßmann,  
Nachweis und Entstehung aktiver Bariumisotope aus Uran und Thorium  
durch Neutronenbestrahlung; Nachweis weiterer aktiver Bruchstücke der  
Uranspaltung, *Naturwissenschaften* **27**, 89-95 (1939)

Lise Meitner and Otto Robert Frisch,  
Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction,  
*Nature* **143**, 239-240 (1939)

Otto Robert Frisch,  
Physical Evidence for the Division of Heavy Nuclei under Neutron Bom-  
bardment, *Nature* **143**, 276 (1939)

### Übersicht

Günter Herrmann,  
Vor fünf Jahrzehnten: Von den „Transuranen“ zur Kernspaltung, *Ange-  
wandte Chemie* **102**, 469-496 (1990)

### Biographien

Otto Hahn,  
Vom Radiothor zur Uranspaltung – Eine wissenschaftliche Selbstbio-  
graphie, Braunschweig 1962; Nachdruck (Hrsg. Dietrich Hahn) 1989

Otto Hahn,  
Mein Leben, München 1968; erweiterte Neuausgabe (Hrsg. Dietrich  
Hahn) 1986

Otto Hahn,  
Erlebnisse und Erkenntnisse (Hrsg. Dietrich Hahn), Düsseldorf 1975

Dietrich Hahn (Hrsg.),  
Otto Hahn – Leben und Werk in Texten und Bildern, Frankfurt 1988

Fritz Krafft,  
Im Schatten der Sensation – Leben und Wirken von Fritz Straßmann,  
Weinheim 1981

Patricia Rife,  
Lise Meitner – Ein Leben für die Wissenschaft, Düsseldorf 1990

Ruth Lewin Sime,  
Lise Meitner – A Life in Physics, Berkeley 1996;  
Lise Meitner – Ein Leben für die Physik, Frankfurt 2001

## Gesellschaft Deutscher Chemiker

Fred-Robert Heiker, Präsident  
Gerhard Erker, Stellvertretender Präsident  
Rudolf Staudigl, Stellvertretender Präsident  
Jan Sombroek, Schatzmeister  
Heindirk tom Dieck, Geschäftsführer

Kommission „Historische Stätten der Wissenschaft“  
Dirk Walther, Jena  
Michael Engel, Berlin  
Hansjörg W. Vollmann, Bad Soden

Fachgruppe Nuklearchemie  
Rolf Michel, Hannover, Vorsitzender

Geschäftsstelle  
Kurt Begitt  
Renate Kießling

## Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Jörg Michaelis, Präsident  
Johannes Preuß, Vizepräsident  
Ulrich Druwe, Vizepräsident  
Götz Scholz, Kanzler

Fachbereich Chemie und Pharmazie  
Herbert Meier, Dekan

Institut für Kernchemie  
Jens Volker Kratz, Geschäftsführender Leiter  
Norbert Trautmann  
Günter Herrmann

Text: Günter Herrmann und Norbert Trautmann  
Bilder: Irmgard Straßmann; Institut für Kernchemie Mainz  
Gestaltung: Claudia Walter  
Druck: Brönners Druckerei Frankfurt

**Diese Broschüre ist kostenfrei erhältlich bei:**

### Gesellschaft Deutscher Chemiker

Öffentlichkeitsarbeit  
Postfach 900 440,  
D-60444 Frankfurt/M.  
www.gdch.de

### Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Institut für Kernchemie  
Fritz-Straßmann-Weg 2  
D-55128 Mainz  
www.kernchemie.uni-mainz.de