

Forschung, Wissenschaft

Über die Entdeckung der Kernspaltung. Ein historischer Rückblick *

W. Seelmann-Eggebert **

Kernforschungszentrum Karlsruhe, BRD

Im Mittelpunkt des Rückblicks steht mein Doktorvater, der Nobelpreisträger *Otto Hahn*, der vor 40 Jahren, im 60. Lebensjahr stehend, die Kernspaltung entdeckte.

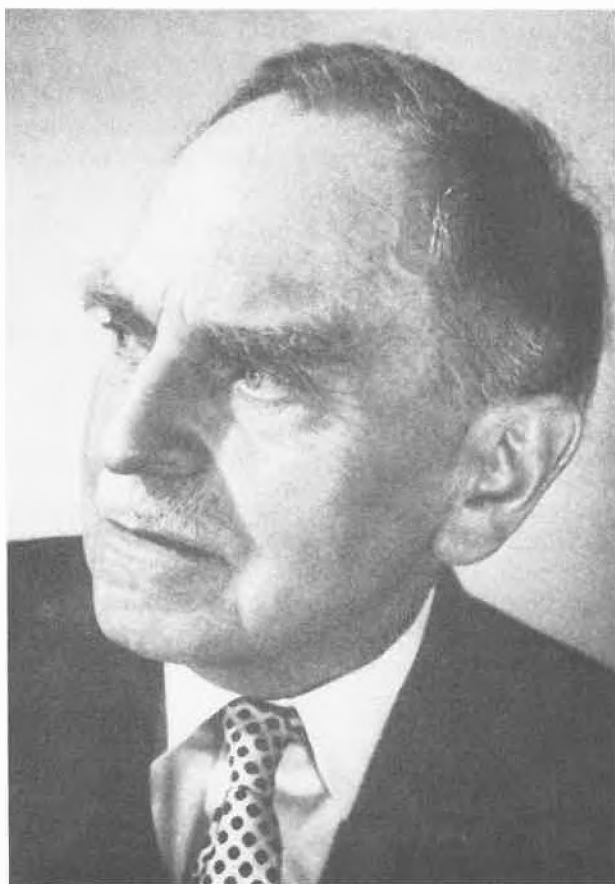


Abb. 1: Otto Hahn

Die Spaltung schwerer Kerne ist nach wie vor die Basis der «Radiochemie» und der etwas umfassender definierten «Nuklearchemie». Kurz vor der Jahrhundertwende entstand dieser Zweig der Wissenschaft und entwickelte sich sogleich zur Frontzone naturwissen-

schaftlicher Erkenntnisse. In den ersten 40 Jahren wurden die natürlich radioaktiven Stoffe untersucht, Radium, Polonium, Radon, Actinium, Protactinium und Francium aufgefunden, der Aufbau der Elemente geklärt und die Kernisomerie entdeckt. Die Entdeckung der Kernspaltung leitete die zweite Periode ein. Künstliche Radioaktivität und künstliche Kernumwandlungen, die Entdeckung der Transuranelemente, des Technetiums, Promethiums und Astats sowie die technische Nutzung der Kernenergie sind ihre Merkmale. Ein Schwerpunkt der dritten Periode wird die Beseitigung bzw. sichere Verwahrung der Spaltprodukte, Transurane und Aktivierungsprodukte sein; ein weiterer vielleicht der Brennstoffkreislauf von Fusionsreaktoren.

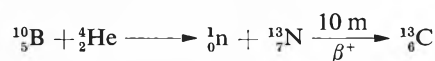
Vorgeschichte der Entdeckung der Kernspaltung

1933 begann *Fermi*, Italien, mit den kurz vorher von *Chadwick* in England entdeckten Neutronen, Elemente zu bestrahlen und durch den (n, γ)-Prozess Radioisotope zu erzeugen.

Chadwick 1932, Entdeckung des Neutrons



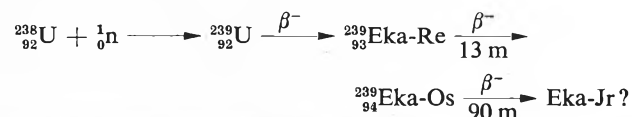
J. Curie, F. Joliot 1934, Entdeckung der künstlichen Radioaktivität



Fermi 1935, Erzeugung von Radionukliden durch Neutronen

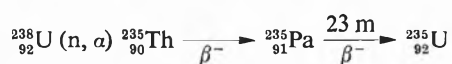
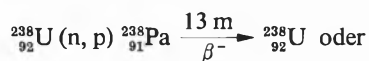


Bei Bestrahlung von Uran beobachtete er, dass sich mehrere Radionuklide bildeten. *Fermi* nahm an, dass sich künstliche Uranisotope in Tochter- und Enkelnuklide umwandeln, die Isotope von Elementen jenseits des Urans sein mussten, da alle im Uran erzeugten Radionuklide Beta-Strahler waren, was bedeutet, dass als Tochternuklid Kerne entstehen, die isotop mit dem nächst höheren Element sind.



* Nach einem Vortrag, gehalten am 30. Mai 1979 vor der Berner Chemischen Gesellschaft. Z.T. wurden zum besseren Verständnis Vereinfachungen vorgenommen und die heutige Nomenklatur verwendet.

** Prof. Dr. W. Seelmann-Eggebert, Universität Karlsruhe, Kernforschungszentrum, Postfach 3640, D-7500 Karlsruhe



Als Physiker konnte Fermi diese Aktivitäten chemisch nicht eingruppiert. Mit Sicherheit war die chemische Zuordnung eine sehr schwierige Aufgabe, da die künstlich erzeugten Radionuklide im Verhältnis zu den natürlichen Zerfallsprodukten des Urans äusserst schwach aktiv waren. Beschleuniger als Neutronenquellen standen damals noch nicht zur Verfügung.

Auf Anregung von *Lise Meitner* begannen nun 1934 Hahn und Meitner gemeinsam – bald wurde auch *Fritz Strassmann* zugezogen – mit dem Versuch, die Fermischen Aktivitäten zu identifizieren.



Abb. 2: O. Hahn, L. Meitner und F. Strassmann

Damals, Mitte der 30iger Jahre, als *Hitler* gerade die Macht ergriffen hatte, gab es vieles noch nicht, was heute ein wesentlicher Bestandteil unseres Lebens ist.

Es gab weder Fernsehen noch Computer – weder Atombomben noch Kernkraftwerksgegner.

Man heizte noch mit Koks und machte Benzin aus Kohle und Wasser.

Nylon war noch nicht erfunden und Jeans nur in Amerika zu haben.

Der Mond war noch nicht betreten, selbst der Mount Everest noch unbestiegen und Penicillin noch nicht entdeckt.

Zur Wiederherstellung der Gesundheit reiste die Prominenz in Radiumbäder, wie Bad Gastein; für den Normalverbraucher gab es Radiumwässer und die radioaktive Zahnpasta «Doramad».

Kohlenstoff-14, Ionenaustauscher und Gaschromatografie waren unbekannt und die meisten unserer heutigen Analysen- und Laborgeräte noch nicht zu haben.

Chemische Elemente trennte und analysierte man durch Fällungen und hielt Transuranelemente für Homologe der Elemente Rhenium, Osmium, Iridium und Platin.

Von Actinoiden wusste man noch nichts.

Wie sah es im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin aus, als ich dort 1938 mit meiner Doktorarbeit begann?

An den Türen der Gemeinschaftsräume, Toiletten und Korridore hing Toilettenpapier; daneben standen Papierkörbe. Man sollte beim Anfassen der Türklinken Papier benutzen, um die Ausbreitung einer radioaktiven Kontamination zu verhindern. Der Aktivitätsunterschied zwischen natürlichen und künstlichen Kernarten betrug damals etwa vier bis fünf Grössenordnungen.

Aus demselben Grunde gab es im Tee- und Kolloquiumsraum und der Bibliothek helle und dunkle Stühle. Die gelben Stühle waren schon damals den Kontaminierten vorbehalten.

Ein Strahlenmonitor war im Institut nicht vorhanden, da es noch keine gab.

Hahn, Meitner und Strassmann hatten ein Labor mit Abzügen von etwa 40 m² Fläche, einen kleinen Raum für die Bestrahlungen und einen etwa 20 m² grossen Messraum, in dem als Wahlspruch das «Gebet des Forschers» von *Sinclair Lewis* hing.

«Gott schenke mir klaren Blick und Freiheit ohne Hast, Gott schenke mir stillen, unerbittlichen Hass gegen allen falschen Schein, gegen Anmassung und gegen nachlässige und halbfertige Arbeit.

Gott schenke mir Ruhelosigkeit, dass ich weder Schlaf noch Lob empfangen mag, bis die Resultate meiner Beobachtungen sich mit den Resultaten meiner Berechnungen decken oder bis ich mit heiligem Feuer dem Fehler zuleibe gegangen bin und ihn bezwungen habe.

Gott schenke mir die Kraft, selbst Gott nicht blind zu vertrauen!»

Besser als durch dieses selbst gewählte Motto lässt sich das Wesen von Hahns Forschernatur kaum beschreiben. Hahn war Frankfurter von Geburt, dem liberalen deutschen Bildungsbürgertum entstammend, sportlich und naturliebend, menschlich aufgeschlossen, jedoch stets eine gewisse Distanz wahrend, bescheiden und als Wissenschaftler ehrgeizig.

Arbeitsmethodik und Tätigkeit im Labor

Was tat man nun damals, wenn man die Absicht hatte, Transurane zu synthetisieren und zu identifizieren?

Zunächst musste Urangelb (Natriumuranat), das billige Abfallprodukt der Radiumgewinnung, gereinigt werden. Hierzu wurde es in Chargen von einigen hundert Gramm in Salzsäure aufgelöst, mit Ammoniak neutralisiert und das Uran mit einem Überschuss von Ammonkarbonat als Karbonatkomplex wieder in Lösung gebracht. Hierbei bleibt die Hauptmenge der Verunreinigungen auf dem Filter. Im uranhaltigen Filtrat wurde das Karbonat zerstört, das Uran als Ammondiuranat gefällt, durch Dekantieren gewaschen, abfiltriert und bei 70° getrocknet. Das gelbe Pulver wurde nun in Papiertüten abgefüllt (Plastikfolien gab es noch nicht).

Neutronenquelle

Tüten mit 30 bis 150 Gramm Diuranat wurden zur Bestrahlung auf die Neutronenquelle gelegt. Meist wurde «verstärkt» bestrahlt, was bedeutete, dass die Neutronenquelle von Paraffinstücken umgeben war. Nach heutiger Rechnung hat der thermische Fluss etwa 4000 Neutronen pro Quadratzentimeter und Sekunde betragen.

Die (α, n)-Neutronenquelle bestand aus fünf zugeschraubten Metallröhrchen von etwa 6 cm Länge. Jedes dieser Röhrchen enthielt ein zugeschmolzenes Glasrohr mit etwa 100 Milligramm Radiumsulfat, das mit Beryllimpulver vermischt war. Wöchentlich einmal wurde ein sechstes Röhrchen mit anfangs etwa 400 Millicurie Radon ausgewechselt, dessen Wände ebenfalls mit Beryllium belegt waren.

Das Radon musste deshalb jede Woche aus einer Radiumbromidlösung abgetrennt werden, da es nur drei Tage Halbwertszeit besitzt. Während des Abtrennvorganges im Radiumhaus mussten in dem etwa 60 m entfernten, durch Hof und Garten getrennten Hahnschen Laboratorium, die Wasserhähne aufgedreht werden, um zu verhindern, dass Radon aus dem Radiumhaus durch die Abwasserleitungen und Syphone in die Laboratorien gelangte. Lief kein Wasser, kontaminierten die Zerfallsprodukte des Radons die negativ geladenen Geiger-Müller-Zählrohre derartig, dass Messungen unmöglich waren. Das Wort «Kontamination» war allerdings noch nicht in Gebrauch.

Der das Radon Abtrennende durfte hinterher das Institut nicht wieder betreten, um es nicht zu verseuchen. Erst am nächsten Morgen durfte er, frisch gebadet und umgezogen, wiederkommen, denn die Radontöchter sind kurzlebig.

Die Neutronenquelle war durch eine 5 cm dicke Bleiwand, etwa 50×20 cm gross, «abgeschirmt». Sie war 17 m vom Hahnschen Messraum entfernt, um die Nullrate der mit 3 cm Blei abgeschirmten Geiger-Müller-Zähler nicht zu erhöhen. Heute würde der Strahlenschutz nach Feststellung der Dosisleistung den Bestrahlungsraum und das Radiumhaus sperren und das Betreten verbieten. Damals aber gab es weder Dosisleistungsmesser noch Strahlenschutzbeauftragte.

Chemische Aufarbeitung des bestrahlten Urans

Nach der Bestrahlung wurde das Diuranat in ein Becherglas geschüttet und in Salzsäure aufgelöst. Nach Zugabe von 10 Milligramm Kupferionen als Träger für die hypothetischen Transuranelemente Eka-Rhenium, Osmium, Iridium und Platin, wurde Kupfersulfid durch Einleiten von Schwefelwasserstoff aus einem Kippschen Apparat gefällt. Hierbei gehen das Uran und seine natürlichen Zerfallsprodukte als Isotope des Thoriums und Protactiniums ins Filtrat.

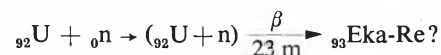
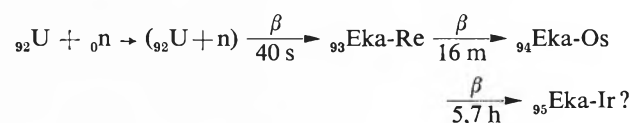
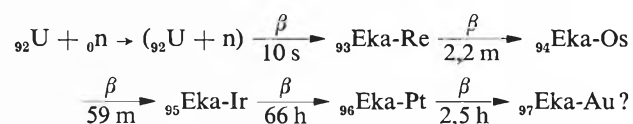
Das Kupfersulfid wurde sodann mit dem Membranfilter in ein Becherglas gegeben und in Salzsäure durch

Zugabe einiger Tropfen Brom aufgelöst. Man gab dann Ionen der Platinelemente Osmium, Iridium, Platin und des Rheniums hinzu, trennte diese Elemente dann voneinander und damit, wie Hahn, Meitner und Strassmann annahmen, die Transuranelemente. Zum Beispiel wurde das Rhenium als Nitronperrhenat gefällt; wie wir heute wissen, werden Spalttechnetium, aber auch andere Spaltelemente, wie Tellur und Molybdän, mitgefällt.

Ein anderes Beispiel: Platin wurde als Platinammoniumchlorid, einer sehr spezifischen Fällung für Platin, abgeschieden. Hierbei geht zwar kein Kation der Spaltelemente in den Niederschlag, doch wird statt des Chlors Spaltjodid in den Kristallisomorph miteingebaut. Hahn, Meitner und Strassmann hielten daher das aus dem H_2S -Niederschlag nachgewachsene Jod-132 für ein Eka-Platin, da es mit dem für Platin spezifischen Niederschlag ausfiel und somit für eine Iridium-Tochter. Die Analyse des Aktivitätsabfalls dieser elementspezifischen Fällungen ergab dann die Halbwertszeiten der «Transurane». Man sprach vom Zweieinhalbstunden- oder vom Dreitagekörper oder auch von der Dreitage-Aktivität (Jod-132; Tellur/Jod-132 + Molybdän/Technetium-99).

Die Aktivität dieser «Körper» war sehr gering, bei Bestrahlungsende ergaben sich höchstens wenige hundert Zählrohrimpulse pro Minute.

Allerdings konnten mehr als 700 Impulse pro Minute wegen der langen Auflöszeit des mechanischen Zählwerks sowieso nicht registriert werden.



Die chemische Zuordnung dieser Radionuklide als Homologe des Rheniums und der Platinelemente war – wie wir heute wissen – nicht richtig.

Suche nach Alpha-Strahlen der «Transurane»

Schon damals nahm man an, dass Transurane durch Emission von Alphastrahlen zerfallen müssten. Deshalb erhielt G. v. Droste die hypothetischen Transuranpräparate, um festzustellen, ob sie Alphastrahlen emittierten. v. Droste fand keine und hat auch keine finden können, denn die ihm übergebenen Präparate enthielten keine Transurane.

Die unterste Zerfallsreihe ist auch heute noch richtig; nur, dass wir heute statt Eka-Re Np setzen, das in Pu übergeht.

Ein Uran-239-Präparat hat v. Droste leider nie zur Untersuchung auf Alphastrahlen bekommen, sonst würden Neptunium und Plutonium vielleicht anders heissen und die Entdecker wären Hahn, v. Droste, Meitner und Strassmann und nicht *McMillan* und *Abelson* bzw. *Starke* gewesen.

Die Isobarenreihe 239

Hahn, Meitner und Strassmann interessierten sich nicht sehr für das 23-Minuten-Uran, da sie seine Tochter für sehr langlebig hielten und glaubten, bereits andere, leichter zugängliche Isotope des Eka-Re entdeckt zu haben. Obwohl U-239 die stärkste Einzelaktivität ist, haben Hahn, Meitner und Strassmann seine Tochter nicht beobachten können, da die Wände ihrer Zählrohre etwa so dick waren wie die Reichweite der Betastrahlen des Tochternuklids, des Np-239.

Die Entdeckung des Np ist im Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin erst später *K. Starke* gelungen; seine Arbeit war zur selben Zeit abgeschlossen, wie die der Entdecker und Namensgeber *McMillan* und *Abelson* in den USA. Starkes Arbeit wurde jedoch aus kriegsbedingter Geheimhaltung erst später veröffentlicht.

Physikalische Messgeräte

Die Nachweisgeräte im Institut waren damals «modern», nämlich Geiger-Müller-Zählrohre, um vieles empfindlicher als die bis dahin üblichen Elektroskope. Die Zählrohre wurden selbst gebaut, aus Aluminiumrohr, Hartgummikappen, Klaviersaitendraht, Glasröhrchen, Picein und mit viel Geduld. Sie wurden, wenn sie kein Plateau zeigten oder ihren Geist aufgegeben hatten, wieder in ihre Bestandteile zerlegt, das Aluminiumrohr poliert, das Picein der Hartgummikappen abgekratzt und die Kappen dann mit Benzol gereinigt, um wieder für ein neues Zählrohr verwendet zu werden.

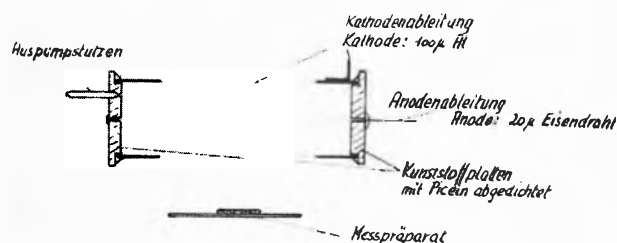


Abb. 3: Geiger-Müller-Zählrohre aus dem Jahr 1938.

Nach Entdeckung der Spaltung machte mir die weitere, wenig aussichtsreiche Untersuchung der chemischen Eigenschaften des gerade von Madame *Perey* entdeckten Franciums, einer Tochter des Actiniums mit 22 Minuten Halbwertszeit, keinen Spass mehr und ich bat Prof. Hahn, auch «künstlich aktiv» arbeiten zu dürfen.

Hier etwa seine Antwort:

«Na, denn suchen Sie sich mal einen Kistendeckel und bauen sich einen Verstärker, Blech gibt Ihnen *Gille*, *Philipp* soll Ihnen Röhren geben, Fr. *Müller* Anodenbatterien und wenn Sie mit dem Widerstand soweit sind, bekommen Sie von mir die Kapazität».

Damals wurden selbst die 100 Megaohmwiderstände zur Ankopplung des Zählrohrs an das Gitter der ersten Röhre noch selbst gemacht.

Man blies sich aus Glasrohr ein T-Stück, schmolz an beiden Enden einen Draht ein, füllte das T-Rohr mit Toluol und ging zu Hahn und meldete: «Es ist soweit». Man bekam dann die geeichte elektrische Kapazität, um mit Stoppuhr und einem Elektroskop den zeitlichen Ladungsabfall über den T-Rohr-Widerstand zu messen. War der Widerstand noch zu gross, gab man ein paar Tröpfchen Alkohol zu, bis der Wert von etwa 100 Megohm erreicht war. Das T-Rohr wurde dann zuge-schmolzen und in Paraffin eingegossen.

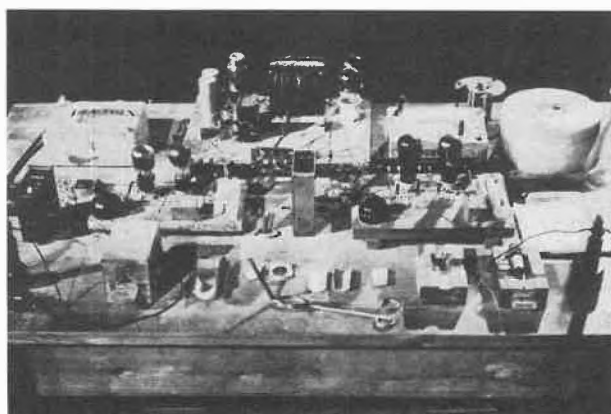


Abb. 4: Messplatz im Deutschen Museum in München.

Milliampèremeter und Zählwerke kaufte Hahn kilogrammweise als Altmaterial von der Reichspost, Spannungsstabilisatoren waren zwei hintereinander geschaltete Glimmlampen. Als Gittervorspannung der Röhre diente eine Anodenbatterie und die Zählrohrhochspannung wurde von zehn in Serie geschalteten 150 Volt Anodenbatterien geliefert.

Hahn achtete darauf, dass diese mit Paraffin eingepinselt wurden und auch darauf, dass die Verbindungen zwischen ihnen bei Nichtgebrauch unterbrochen wurden, damit sie länger hielten.

Forschungsergebnisse von Curie-Savic, Paris 1938

Im Frühjahr 1938 beobachteten *Irène Curie* und *Savic* im Radiuminstitut in Paris, dass nach einer Neutronenbestrahlung von Uran eine künstliche 3,5-Stunden-Beta-Aktivität (Y-92) nicht mit Schwefelwasserstoff ausfiel, sondern ins Filtrat ging. Sie stellten fest, dass dieser «Körper» sich chemisch wie eine Seltene Erde verhielt. Sie schrieben diesen «Körper» einem «chemisch andersartigen Transuran» zu, weil es nicht wie die Hahnschen mit H_2S fällbar war.

Schon 1935 hatte es in Berlin Hinweise gegeben, dass sich Ra-Isotope bildeten; dies ist jedoch nicht weiterverfolgt worden, da v. Droste und Jaeckel keine Alphastrahlen der hypothetischen Bildungsprozesse, (n, α) -Prozesse, hatten finden können.

Die «Ra-Isotope» bei der Bestrahlung von Uran mit Neutronen

Hahn, Meitner und Strassmann untersuchten nun im Frühjahr 1938 gleichfalls das H_2S -Filtrat und fanden Erdalkali-Aktivitäten, deren Betatöchter Erdcharakter hatten. Sie mussten annehmen, dass «Uran» nach dem Neutroneneinfang offensichtlich nacheinander zwei Alphateilchen emittieren konnte, so dass Radiumisotope entstanden. v. Droste erhielt daher erneut den Auftrag, mit seinem Alphaspektrometer nach den Alphastrahlen der hypothetischen Reaktionen während der Neutronenbestrahlung zu suchen. Er fand wieder keine, denn mit thermischen Neutronen sind keine (n, α) -Reaktionen möglich. Andere Institute glaubten allerdings, Alphastrahlen nachgewiesen zu haben. Heute wissen wir, dass es irrtümliche Interpretationen der Messergebnisse gewesen sein müssen. Hätte es 1937 im Institut einen Kathodenstrahloszillografen gegeben, hätte v. Droste die hohen Energiepeaks der Spaltfragmente beobachten müssen, wie es später dann, nach Entdeckung der Spaltung, Meitner und Frisch getan haben. Das Kaiser-Wilhelm-Institut war damals zu arm, um sich einen Oszillografen leisten zu können. Hätte es einen gegeben, so wäre die Spaltung wahrscheinlich schon früher von Meitner und v. Droste und nicht von Hahn und Strassmann entdeckt worden. Diese weniger bekannten Tatsachen werden nur zur Schilderung der damaligen Situation erwähnt, nicht mit der Absicht, geschichtliche Tatsachen anders darstellen oder gar werten zu wollen.

Frau Prof. Meitners Emigration

Inzwischen war Österreich in das Deutsche Reich eingegliedert worden. Hierdurch wurde Lise Meitner von einer Ausländerin zu einer Grossdeutschen Jüdin und durfte als solche nicht im Institut weiterarbeiten. Ohne Visa, trotz offiziellen Ausreiseverbots des Reichskulturministers, gelangte sie über die Niederlande nach Skandinavien mit Hilfe Hahns, *Scherrers* (Zürich), *Kosters* und *de Haas* (Holland), *Bohrs* (Kopenhagen) und *Siegbahns* (Stockholm).

Erst nach ihrem Weggang wurde ich Augenzeuge des Institutsgeschehens, denn im Herbst 1938 hatte mich Hahn als Doktorand, 23 Jahre alt, angenommen.

Als Doktorand zahlte ich jedes Semester eine Materialkostenpauschale in Höhe von RM 120,- an das Institut. Ein Industriestipendium erhielt ich erst ein Jahr nach der Promotion. Es betrug zunächst RM 150,-, später 300,- im Monat.

Gruppierung im Institut

Zur Zeit meines Eintritts gab es Gruppierungen im Institut, die ausschliesslich durch die Einstellung zu den Nationalsozialisten bedingt waren. Ein Viertel war Gegner, ein Viertel Überzeugte, die anderen Mitläufer. Die «Gefährlichen», d.h. die potentiellen Denunzianten, waren eher in der grossen Gruppe der Mitläufer und weniger bei den Überzeugten zu finden, die sich persönlich meist anständig benommen haben.

Gegen Kriegsende wurde es für Hahn und andere Gegner des dritten Reiches recht gefährlich. Anzeigen eines Institutsangehörigen hatten Untersuchungen durch die Gestapo zur Folge, führten allerdings zu keinen sichtbaren Konsequenzen. Von den 36 Punkten der Anzeige waren über die Hälfte offensichtlich und beweisbar falsche Anschuldigungen, so dass die Glaubwürdigkeit des Anzeigers widerlegt werden konnte. Wir waren nochmals davongekommen. Eine weitere Untersuchung auf Grund einer neuen Denunzierung, wiederum durch einen Angehörigen der Werkstatt, wurde gegenstandslos, weil die Gestapo sich selbst vor den anrückenden Alliierten absetzte.



Abb. 5: Kaiser-Wilhelm-Institut Berlin-Dahlem bei seiner Eröffnung 1912.

Hahn war von Anfang an ein Gegner der Nationalsozialisten. Er achtete bei Neuaufnahmen auf die politische Einstellung, wie seine Antwort auf meine spätere Frage zeigt: «Warum er mich denn als Doktorand angenommen habe». Seine Antwort: «Von allen Bewerbern haben Sie als Einziger nicht mit Heil Hitler begrüsst».

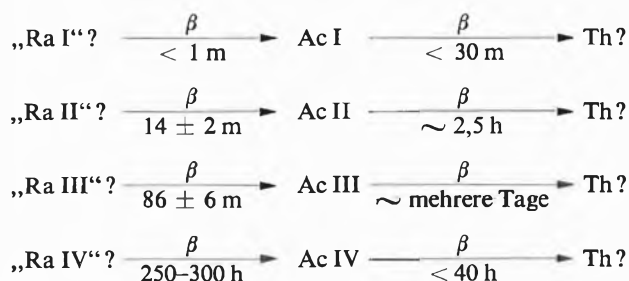
Natürlich musste auch Hahn die Gesetze erfüllen. So musste er bei der Promotion ein halbstündiges Examen über die Kenntnisse in nationalsozialistischer Geschichte abnehmen. Er examinierte mich hierbei 1940 über den 30. Juni 1934, das Konkordat, den Staatsstreich nach Hindenburgs Tod, alles Ereignisse, über die im Dritten Reich nicht mehr gern gesprochen wurde. Er schloss mit der Frage, «was passierte am 9. 11. 1918» (Revolutionsbeginn), «was am 9. 11. 1923» (Marsch zur Feldherrnhalle, Blutopfer der Nazis, erschossen durch die bayerische Polizei), darauf kam die Frage: «Und was war am 9. 11. 1912?»

Meine Antwort: «Weiss ich nicht; vielleicht die Einweihung des Instituts?» Darauf er lachend: «Nicht schlecht, stimmt aber nicht, das war früher; am 9.11.1912 habe ich mich verlobt!» Er entliess mich mit der Bemerkung: «Na, das war ja ganz ordentlich». Im Kriege gab es manchmal, wenn Versuche liefen und er deshalb nicht nach Hause gehen konnte, ein Klopfen an meinem Messraum. Hahn guckte herein und sagte: «Kommen Sie doch mal mit zu mir ins Zimmer». Ich sass dann im Vorzimmer als Wache, damit er den «Wochenbericht zur Lage» des Freiherrn von Salis im Schweizer Rundfunk ungestört hören konnte. Ich glaube, es war «donnerstags».

Damals stand schon auf das Abhören von Auslands-sendern offiziell die Todesstrafe!

Radiumreihen und schnelle Trennungen

Nach Frau Meitners Emigration untersuchten Hahn und Strassmann die Erdalkalikörper genauer. Sie veröffentlichten vier isobare Radiumreihen. Man erkennt, dass sie ihr Erdalkalipräparat innerhalb von etwa 2 Minuten nach dem Ende der Bestrahlung abgetrennt haben mussten, denn sie hatten das Nachwachsen einer 30-Minuten-Tochter beobachtet.



Wie machten sie dies so schnell?

Man nimmt die Urantüte von der Neutronenquelle und drückt eine Stoppuhr. Löst in gekühlter konzentrierter Salzsäure das Uranat auf, gibt ein paar Tropfen Bariumnitratlösung hinzu, worauf Bariumchlorid auskristallisiert, das über ein Membranfilter abgesaugt und mit Äther nachgewaschen wird. Man klebt das Filter in das Messschiffchen, rennt zum Zähler und liest alle 10 Sekunden ab. Hat man wieder Atem geschöpft, ist der Versuch bereits beendet und mit etwas Glück hatte man ein neues Radionuklid entdeckt.

Zwölf Jahre später habe ich z.B. mit meinen Mitarbeitern in Buenos Aires einmal an einem Tag, selbstverständlich nach tagelangen Vorbereitungen, drei neue, kurzlebige Spaltprodukte entdeckt (Ru-106, Rh-106 und Tc-102). Hahn und Strassmann gelang es später, das Spaltjodid-137 mit einer Halbwertszeit von 24 Sekunden aufzufinden. Sie hatten also für die Wege, das Lösen, Destillieren des Jods, Reduzieren in Bisulfatlösung, Fällung als Silberjodid in Salpetersäure, Abfiltrieren, Montieren, wenig mehr als eine Minute

gebraucht. An der Suche nach «kurzlebigen» hatte Hahn einen ganz besonderen Spass und einen im wahrsten Sinne sportlichen Ehrgeiz.

Hahn strahlte, wenn ich zum Beispiel vom Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik, wo es 1942 einen Beschleuniger gab, mit dem Fahrrad angerast kam, es in den Buchsbaumbusch am Eingang warf, Hahn mir die Türen aufhielt und zusah, wie mein Kollege Born dann die während des Fahrradtransportes aus den Spalthalogenen nachgewachsenen Krypton- und Xenonisotope in die Messkammer brachte.

Versuche zur Identifizierung der Erdalkaliaktivitäten

Die Existenz des Radiums IV (Ba/La-140) war nur durch den Anstieg der Tochter nachgewiesen, da seine eigene Beta-Strahlung relativ weich ist, so dass die Selbstabsorption in den dicken Bariumniederschlägen Hahns sehr stark war. Hahn und Strassmann wollten daher die Bariumträgermenge im Radium-IV-Messpräparat abreichern, um die Beta-Strahlung des Radiums IV günstiger messen zu können, denn Hahn kannte die Anreicherung von Radium gegen Barium sehr gut, denn schon bei der Entdeckung des Mesothors, hatte er Radium gegen Barium angereichert. Ihr Radium-IV-Präparat wurde also wieder aufgelöst und fraktioniert kristallisiert. Ein Erfolg blieb jedoch aus, denn die spezifische Aktivität ihrer Fraktion änderte sich nicht.

Hahn und Strassmann waren zunächst der Meinung, dass der Versuch missglückt sei. Sie kristallisierten deshalb zur Probe Barium in Gegenwart des natürlichen Radiumisotops Thor X (Ra-224). Die Fraktionen verhielten sich normal, d.h. so, wie sie es von früher her kannten. Nun vermischten sie eine etwa gleichstarke Radiumaktivität mit ihrem 12-Tage-Barium aus Uran und stellten fest, dass bei der fraktionierten Kristallisation der 12-Tage-Körper vom Radiumisotop Thor X zu trennen war.

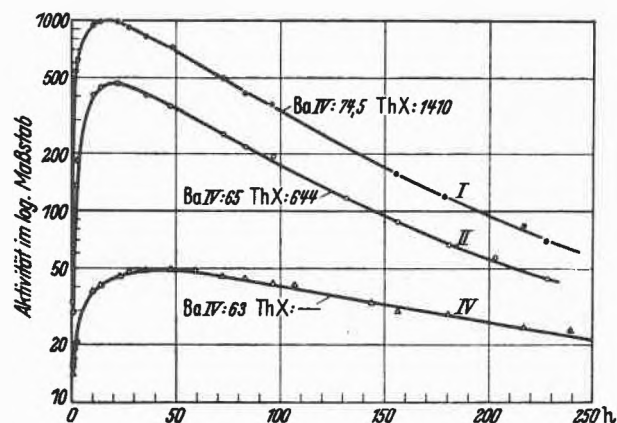


Abb. 6: Ba/Thx-Trennung. Das Bild zeigt die Originalkurven der An- bzw. Abreicherung der Barium- und Radiumisotope.

Um noch sicherer zu gehen, überführten Hahn und Strassmann in einem weiteren Versuch, nur $\frac{2}{3}$ eines

12-Tage-Barium-Präparats nacheinander in verschiedene Bariumverbindungen. Ihr Barium durchlief dabei einen Kreisprozess, ausgehend von Bariumchlorid über bernsteinsaures Barium, Bariumnitrat, Bariumcarbonat, Bariumbromid, Bariumferimanit, zurück zum Bariumchlorid. Die spezifische 12-Tage-Aktivität dieses Bariumchlorids war nach dem Kreisprozess genau gleich der des Ausgangschlorids.

Beweis der Spaltung und Veröffentlichungen

Ihr Radium IV war ein Bariumisotop. Die Kernspaltung war entdeckt und zwar chemisch auf dem schwierigen Wege, einer Ba-Ra-Trennung durch fraktionierte Kristallisation.

Bereits in der am 6. Januar 1939 erschienen Veröffentlichung, die am 22. 12. 1938 bei den «Naturwissenschaften» eingegangen war, hiess es:

«Als Chemiker müssten wir eigentlich sagen, bei den neuen Körpern handelt es sich nicht um Radium, sondern um Barium».

In den «Naturwissenschaften» vom 10. 2., mit Eingangsdatum vom 8. 1. 1939, heisst es dann:

«Nachweis der Entstehung aktiver Bariumisotope aus Uran und Thorium durch Neutronenbestrahlung. Nachweis weiterer aktiver Bruchstücke bei der Uran-spaltung».

Physikalischer Nachweis der Spaltung

Auch nachdem Frau Meitner Deutschland verlassen hatte, blieben die Kontakte zwischen Hahn und ihr, wenn auch nur brieflich, aufrechterhalten. Sie war die Erste, die im Dezember 1938 über die erstaunlichen Ergebnisse unterrichtet worden war. Die Mitarbeiter im Institut erfuhren erst im Januar 1939 davon. Frau Meitner und ihr Neffe *Frisch*, konnten so als Erste durch Messung der Rückstossenergie der Spaltfragmente, die Kernspaltung auch physikalisch beweisen. Sechs Tage nach dem Einreichen ihrer Arbeit bei der «Nature», haben auch die Physiker in Hahns Institut, *G. v. Droste* und *Flügge*, ihre detaillierten Überlegungen über die Energie der Spaltfragmente zur Veröffentlichung eingereicht. Im Märzheft der «Naturwissenschaften» wies dann Hahns Theoretiker *S. Flügge* auf die Möglichkeit hin, dass durch eine Kernkettenreaktion riesige Energien freigesetzt werden könnten. Danach kam bekanntlich eine Lawine von Untersuchungen ins Rollen, die schliesslich in den USA zur Herstellung von Atombomben führte. Ein grosses Interesse an der Entwicklung einer Bombe hatte die Hitler-Regierung deshalb nicht, weil aufgrund aller Expertenaussagen mindestens fünf Jahre vergehen dürften, bis eine solche einsatzfähig wäre. Die Führung war der Ansicht, dass der Krieg längst vorher gewonnen sei und deshalb ein solches Ziel nicht als «besonders vordringlich» einzustufen sei.

Arbeiten im Kaiser-Wilhelm-Institut nach der Entdeckung der Kernspaltung

In Dahlem ging die Arbeit auch nach Kriegsbeginn «normal» weiter: v. Droste beschäftigte sich nun mit Spaltneutronen, Hahn und Strassmann, dann auch *Götte* und ich, später kam noch *H. J. Born* hinzu, entdeckten in rascher Folge weitere Spaltprodukte.

Abb. 7: Spaltprodukttable bei Kriegsende.

K. Starke und *Sauerwein* arbeiteten über Kerndaten und Querschnitte der Isobarenreihe-239. Die Ergebnisse dieser Arbeiten blieben geheim, da man auch in Deutschland annahm, dass das Isotop-239 des Elements-94 langlebig ist und gleiche Eigenschaften hat wie Uran-235, also mit ihm eine Atombombe herge-



Abb. 8: Kaiser-Wilhelm-Institut nach dem Bombentreffer 1943.

stellt werden könne. Plutonium hat es allerdings vor Kriegsende in Deutschland nicht gegeben.

Die theoretischen Überlegungen für eine kontrollierte Kettenreaktion und die Konstruktionsmerkmale eines Reaktors, wurden im Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik erarbeitet. Hierbei sind die Herren *v. Laue*, *Heisenberg*, *v. Weizsäcker*, *Wirtz*, *Bagge* und *Diebner* zu nennen.

Ein mit Schwerwasser gefüllter Zylinder und an Ketten hängende rhombische Uranstücke sind die wesentlichen Merkmale der in Haigerloch in Württemberg aufgebauten Versuchsanordnungen, des FR 1, mit einer relativ geringen Neutronenvermehrung ($k_{\infty} \sim 1,08$). Bei dieser Anordnung reichte das vorhandene Uran und schwere Wasser von je zwei Tonnen zum Erreichen der Kritikalität nicht aus. (In Norwegen wurden durch britisch-norwegische Kommandounternehmungen die

Schwerwasseranlage zerstört und Vorräte beim Transport vernichtet.)

In einem kugelförmigen Gefäß und kugelförmigen Brennelementen mit einem besseren Neutronenvermehrungsfaktor ($k_{\infty} \sim 1,12$), hätte mit denselben zwei Tonnen Uran und schwerem Wasser Kritikalität erreicht werden können. Eine solche Anordnung ist jedoch nicht mehr eingesetzt worden. So ist der FR 1 eine unterkritische Anordnung geblieben, bis er von den Amerikanern abgebaut wurde.

1943 fiel dann die Bombe in Hahns Zimmer im Dahlemer Institut.

Das Institut wurde verlagert, die Arbeitsmöglichkeiten wurden immer schlechter und schliesslich ging es nur noch ums Überleben.

Die Untersuchungen über die Kernspaltung in Deutschland während des Krieges waren zu Ende.