

14. Kernenergie

- 14.1 Physikalische Grundlagen
- 14.2 Kernreaktor
- 14.3 Radioaktivität
- 14.4 Die Zukunft der Kernenergie
- 14.5 Biographie: Otto Hahn

In der gegenwärtigen Klimadiskussion ist die Nutzung der Kernenergie der umstrittenste Punkt. Das gilt national wie international. In Deutschland befürworten CDU/CSU und FDP die Nutzung der Kernenergie, während SPD und Grüne sie ablehnen. In Europa gibt es Länder wie Österreich und Italien, die den Ausstieg aus der Kernenergie vollzogen haben, und solche, wie Frankreich, die fast 80% ihrer Elektrizität aus der Kernenergie erzeugen. In Deutschland sind es zurzeit 28%, und man streitet immer noch um die Restlaufzeiten der bestehenden Kernreaktoren.

14.1 Physikalische Grundlagen

Es gibt im Universum rund 90 Elemente, die, wenn man sie nach der Masse der Atome anordnet, mit Wasserstoff und Helium beginnen und mit dem Uran enden. Die „Urelemente“ Wasserstoff und Helium sind in den ersten Minuten nach dem Urknall entstanden und sind im Universum am häufigsten vertreten, während alle schwereren Elemente später, während des Lebenszyklus von Sternen wie unserer Sonne, gebildet wurden. Bei diesen Prozessen wird i.a. Energie frei. Die Energie aus der Fusion von Wasserstoff zu Helium ist die wichtigste Energiequelle für die Sonne. Sie ist auch die Reaktion, die der Explosivkraft der Wasserstoffbombe zugrunde liegt.

Am massereichen Ende der Reihe der Elemente lässt sich Energie aus der Spaltung von Atomkernen gewinnen. Auch hier ging mit der Atombombe die militärische Nutzung der zivilen voraus. Im Jahre 1938 entdeckten die beiden Chemiker Otto Hahn und Fritz Straßmann die induzierte Kernspaltung, die kurz darauf von den beiden Physikern Otto Frisch und Lise Meitner theoretisch erklärt wurde.

Atomkerne sind gebundene Systeme von positiv geladenen Protonen und ungeladenen Neutronen. Die Zahl der Protonen, die Kernladungszahl Z , bestimmt die chemischen Eigenschaften und ist für alle Atome eines Elements die gleiche, während die Gesamtzahl A aus Protonen und Neutronen die Masse festlegt und innerhalb eines Elements variieren kann. Für Uran gilt $Z = 92$. Die wichtigsten Isotope des Urans sind die mit $A = 235$ und $A = 238$ Kernbausteinen, für die man abgekürzt ^{235}U und ^{238}U schreibt. Für die Energiegewinnung ist nur das Isotop ^{235}U von Bedeutung, dessen Kerne nicht rund, sondern zigarrenförmig gestreckt sind. Wird ein solcher Kern von einem „langsamen“ Neutron getroffen, nimmt er dieses auf, gerät in Schwingungen und teilt sich schließlich in zwei größere radioaktive „Teilstücke“, und emittiert dabei noch im Mittel 2,5 Neutronen, die zum kleinen Teil zeitlich verzögert sind. Bei diesem Prozess wird sehr viel Energie frei.

Was heißt hier „viel Energie“? Die Energieform, mit der wir am besten vertraut sind, ist die chemische Energie, z.B. bei der Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid. Wir vergleichen die Energie, die bei der Spaltung von einem Urankern frei wird, mit der bei der Verbrennung von einem Kohlenstoffatom. Ganz grob ist die bei der

Kernspaltung freierwerdende Energie um einen Faktor 100 Millionen d.h. 10^8 größer. Oder anders ausgedrückt, aus 1 g ^{235}U kann man etwa soviel Wärme gewinnen wie aus etwa 5 t Kohle.

Der zweite wichtige Aspekt der Kernspaltung von ^{235}U sind die produzierten Neutronen. Diese Neutronen können bei der passenden Energie von anderen ^{235}U -Kernen eingefangen werden und diese wiederum zur Spaltung bringen, so dass der Prozess der Spaltung, nachdem er einmal angeworfen ist, von selbst weiterläuft. Man spricht von einer Kettenreaktion. Der Prozess ähnelt dem in einem gewöhnlichen Ofen: Nachdem man mit einem Streichholz angezündet hat, brennt die Kohle von selbst weiter und - je nach der Luftzufuhr - stärker oder schwächer. Wie man die Kohleverbrennung mit Hilfe der Luftzufuhr regelt, so kann man die Energiegewinnung aus der Kernspaltung kontrollieren, indem man die Stärke der Kettenreaktion kontrolliert. Hierbei nutzt man u.a. aus, dass die Kernspaltung von ^{235}U nur durch langsame, d.h. Neutronen mit niedriger Energie ausgelöst wird. Bei der Spaltung entstehen aber überwiegend hochenergetische Neutronen. Diese müssen abgebremst werden, ehe sie zur Spaltung verwandt werden können. Das Abbremsen geschieht mit sog. Moderatoren, z.B. ganz normalem Wasser. Eine zweite Möglichkeit, die Kettenreaktion zu kontrollieren, sie sogar zum Stillstand zu bringen, hat man mit Absorbern, z.B. Bor oder Cadmium, die Neutronen einfangen und sie damit der Kettenreaktion entziehen. Da beide Steuerprozesse, die Moderation und Absorption von Neutronen, relativ langsam beeinflusst werden können, gelingt die Steuerung von Reaktoren nur dadurch, dass ein kleiner Teil der bei der Spaltung emittierten Neutronen verzögert ist.

14.2 Kernreaktor

Ein Kernreaktor, in dem bei der Spaltung von Uran die Kernenergie in elektrische Energie umgewandelt wird, ist eigentlich recht einfach aufgebaut. Die Probleme liegen in der technischen Ausführung der einzelnen Komponenten, bei der heute extrem hohe Sicherheitsanforderungen gestellt werden. Wir wollen uns hier nur mit dem Prinzip beschäftigen. Dazu erklären wir den Aufbau und die Wirkungsweise eines Druckwasser-Reaktors, der in Deutschland am häufigsten vertreten ist. Die gesamte Anlage gliedert sich in drei Teile:

1. Der Reaktor, in dem die Kernspaltung stattfindet, mit einem Primärkreislauf und einem Wärmetauscher. Dieser Teil ist aus Sicherheitsgründen von einer dicken Betonhülle umgeben.
2. Der Turbinen- und Generatorteil, in dem über den Sekundärkreislauf die elektrische Energie erzeugt wird, und
3. das Kühlsystem mit den charakteristischen Kühltürmen.

Im Zentrum des Reaktors befinden sich die Brennstäbe, das sind Metallzylinder, die das angereicherte Uran enthalten. Während im natürlichen Uran das Isotop ^{235}U nur in einer Konzentration von 0,7% vorkommt, enthält das für Druckwasser-Reaktoren benutzte Uran 3 bis 4 % des Isotops ^{235}U . Der Prozess des Anreicherns ist sehr aufwendig und teuer.

Die Brennstäbe werden von gewöhnlichem Wasser unter hohem Druck und hoher Temperatur (160 bar und 330°C) umspült. Das Wasser hat zwei Funktionen: Erstens moderiert es die Neutronen, d.h. es bremst sie ab, damit sie zur Kettenreaktion beitragen können. Zweitens führt das Wasser die Wärme ab, die bei der Kernspaltung entsteht. In einem Wärmetauscher, der innerhalb des Betonblocks liegt, wird die Wärme aus dem

Primärkreislauf an einen Sekundärkreislauf übergeben, der dann über Hoch- und Niederdruckturbinen den Generator zur Erzeugung von Elektrizität treibt. Der Wärmetauscher verhindert, dass Radioaktivität, die im Primärkreislauf entstehen kann, nach außen gelangt. Der Wirkungsgrad eines Druckwasserreaktors, d.h. der Anteil der Wärme, der in elektrische Energie umgewandelt werden kann, beträgt 32 – 36% (verglichen mit 45 – 50 % in Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen).

Die Stärke der Kettenreaktion wird auf zwei Wegen kontrolliert. Ersten können die Steuerstäbe, die aus einem Gemisch von Bor und Cadmiumverbindungen bestehen, mehr oder weniger tief in den Zwischenraum zwischen den Brennstäben eingefahren werden und somit mehr oder weniger Neutronen absorbieren. Weiterhin ist die Moderierung durch das Wasser im Primärkreislauf temperaturabhängig. Steigt die Rate der Kernspaltungen an, wird mehr Wärme produziert und das Wasser wird heißer. Damit sinken seine Dichte und auch sein Vermögen, Neutronen zu abzubremesen, wodurch die Kettenreaktion verlangsamt wird. Im Falle eines Lecks im Primärkreislauf kommt die Kettenreaktion zum Stillstand. Allerdings wird wegen der Radioaktivität in den Brennstäben weiterhin Wärme, die sog. Nachwärme, produziert, die mit Hilfe von Notaggregaten abgeführt werden muss, wenn man eine Schmelze der Brennstäbe verhindern will.

14.3 Radioaktivität

Das größte Problem bei der Nutzung der Kernenergie sind die radioaktiven Stoffe, die während des Betriebs entstehen. Die radioaktiven Kerne aus der Spaltung von Uran emittieren α , β oder γ -Strahlung, ehe sie sich in stabile chemische Elemente umgewandelt haben. Ganz generell gesprochen ist radioaktive Strahlung in jeder Form für ein Lebewesen schädlich. Es können äußere wie innere Verbrennungen auftreten, als Spätfolge sogar Krebs. Der Mensch hat für radioaktive Strahlung kein Sinnesorgan, mit dem er eine drohende Gefahr erkennen könnte. Aus diesem Grunde ist es verständlich, dass viele Menschen ängstlich der Radioaktivität gegenüberstehen.

Versuch: Unterschiede zwischen den Strahlungsarten

Bei der Uranspaltung entstehen viele verschiedene Tochterkerne, die sich durch ihre Protonen- und Neutronenzahlen unterscheiden und verschiedene Halbwertszeiten haben. Die Halbwertszeit gibt den Zeitraum an, in dem die Hälfte der entstandenen radioaktiven Kerne zerfällt. Diese Halbwertszeiten variieren zwischen Werten von Bruchteilen von Sekunden und vielen Tausend oder Millionen Jahren.

Versuch: Vergleich zweier Halbwertszeiten

Die Radioaktivität entsteht im Reaktor bei regulärem Betrieb. Verschiedene Vorsichtsmaßnahmen verhindern, dass diese Radioaktivität austritt. Allerdings gab es kleinere und größere Unfälle, bei denen Radioaktivität doch nach außen gelangte. Der Unfall von Tschernobyl in der Ukraine aus dem Jahre 1986 ist uns allen noch in Erinnerung. Bei einem Test geriet der Reaktor in eine Situation, in der er nicht mehr gesteuert werden konnte. Eine Gasexplosion im Reaktorkern schleuderte große Mengen radioaktives Material in die Atmosphäre, auch deswegen, weil der Reaktorblock nicht von einem

Betonmantel umgeben war. Der Wind trug die radioaktive Wolke über weite Teile von Europa, wo sie dann abregnete. Weißrussland war am schlimmsten betroffen.

Die zweite Schwierigkeit mit der Radioaktivität tritt in dem sog. Atommüll auf. Nachdem ein Teil des ^{235}U in den Brennstäben verbraucht ist, muss man die alten Brennstäbe etwa nach drei Jahren durch neue ersetzen. Die alten Brennstäbe enthalten die radioaktiven Spaltprodukte und sind deshalb hochaktiv. Da die meisten der produzierten radioaktiven Kerne eine relativ kurze Halbwertszeit haben, lässt man die Brennstäbe zunächst sich in einem Wasserbad „abkühlen“. Nach 40 Jahren ist 99,9% der ursprünglich nach dem Ausbau der alten Brennstäbe vorhandenen Radioaktivität abgeklungen. Dennoch ist auch die übrig gebliebene Radioaktivität für eine Zeit von einigen 10 Tausend Jahren gefährlich. Wohin mit dem Müll in dieser Zeit? Hier gibt es verschiedene Vorschläge, von denen der am weitesten erforschte die Endlagerung in geologisch „sicheren“ Kammern in Gestein oder Salzstöcken darstellt. In Deutschland liegt die vorgesehene Endlagerstätte bei Gorleben und ist immer wieder das Ziel von Anti-Atomenergie-Demonstrationen. In der Tat ist die Endlagerung ein noch nicht befriedigend gelöstes Problem der Atomenergie.

14.4 Die Zukunft der Kernenergie

Zurzeit befinden wir uns in einer Umbruchsituation, was Energieversorgung und Klimawandel angeht. Es ist klar, dass sich die fossilen Energieträger Öl und Erdgas in wenigen Jahrzehnten drastisch verknappen werden, nur für Kohle kennt man noch Reserven für 200 Jahre – auf der Basis des aktuellen Verbrauchs. In einigen 10 Jahren ist man sicherlich noch nicht soweit, dass man den zu erwartenden Ausfall an Energie aus Öl und Gas durch regenerative Energiequellen ersetzen kann. Dazu kommt noch, dass in vielen Ländern, einschließlich Deutschlands, die politische Stimmung gegen die Atomenergie steht, und dass man die noch laufenden Reaktoren nach und nach abschalten will, ohne sie durch neue zu ersetzen. Damit wird die Energieproblematik noch erhöht. Da Kernreaktoren nicht zum Treibhauseffekt beitragen, wären sie unter dem politischen Ziel des Klimaschutzes die Energieform der Wahl. Allerdings, so muss man zugeben, ist die Endlagerung des radioaktiven Abfalls noch unbefriedigend gelöst.

Zur gegenwärtigen Zeit sehen wir keine klare politische Linie. Zur Zeit ist man in Deutschland nicht bemüht, neue Reaktortypen zu entwickeln, die eine höhere inhärente Sicherheit bieten. Außerdem gibt es kaum Anstrengungen, neue Wege zur Behandlung des radioaktiven Mülls zu erforschen, z.B. durch Zerstörung der radioaktiven Kerne in einem Prozess, den man Transmutation nennt. Dabei werden die langlebigen radioaktiven Substanzen durch Neutronenbeschuss in kurzlebiger umgewandelt, so dass nach etwa 500 Jahren die Radioaktivität im Wesentlichen abgeklungen ist.

Ein anderer Weg, die Kernenergie zu nutzen, wären die Fusionsreaktoren, in denen Energie erzeugt wird, indem Wasserstoffkerne zu Heliumkernen verschmolzen werden. Die zu bewältigenden technischen Probleme sind ungleich höher als beim Spaltreaktor, insbesondere, weil man mit Temperaturen von einigen Millionen Grad arbeiten muss. Man erwartet, dass das Problem der Radioaktivität in Fusionsreaktoren weniger gravierend ist als in Spaltungsreaktoren. Die Forschung auf dem Gebiet der Fusionsreaktoren läuft seit etwa 50 Jahren. Man hat die nötigen Temperaturen erreicht, auch kurzzeitig Kernverschmelzungen beobachtet, aber es wurde noch kein Prototyp gebaut,

der mehr Energie erzeugt, als er verbraucht. Wenn man überhaupt mit der Kernfusion je zum Erfolg kommen wird, dann vielleicht in etwa 50 Jahren.

14.5 Biographie Otto Hahn (1879 - 1968)

"Dein 80. Geburtstag wird Dir Beweise aus der ganzen Welt dafür bringen, dass Du als Mensch und als Wissenschaftler die Liebe, Verehrung und Dankbarkeit von mindestens zwei Generationen der Menschen erworben hast und ein schwer erreichbares Vorbild für die jüngere Generation bist"

Lise Meitner

Otto Hahn wurde 1879, im gleichen Jahr wie Albert Einstein, in Frankfurt a.M. geboren. Die Vorfahren väterlicherseits stammten aus der Gegend um Worms und waren Nebenerwerbslandwirte und Glaser. Auch Ottos Vater Heinrich lernte das Glaserhandwerk und ging auf die Walz. In Frankfurt wurde er sesshaft bei einer Witwe, die mit ihrer Mutter einen guten Mittagstisch anbot. Er heiratete sie, adoptierte ihren Sohn Karl aus erster Ehe, und die beiden hatten 3 weitere Söhne, von denen Otto der jüngste war. Als der Vater die Glaserei seines Meisters übernehmen konnte, mussten die Eltern sich um das Geschäft kümmern und überließen Karl die Aufsicht über seine 3 jüngeren Brüder. Da nach dem Krieg von 1870/71 ein Bauboom einsetzte, kam die Familie bald vermehrt zu Aufträgen und damit auch zu einem zufriedenstellenden Auskommen, zumal Sparsamkeit, Fleiß und Realitätssinn das Leben der Hahns kennzeichnete.

Während Karl auf das Gymnasium ging, besuchten seine jüngeren Brüder die Oberrealschule. Besondere Begabungen fielen bei Otto lange nicht auf. Erst als Primaner begann er sich für die Chemie zu interessieren, nachdem er chemische Experimentalvorträge von Professor Freund besucht hatte. Dieses Interesse war von bleibender Dauer, so dass er Chemie als Studienfach wählte.

Er schrieb sich also nach dem Abitur an der Universität Marburg ein (Frankfurt hatte zur damaligen Zeit noch keine Universität), begann sein Studium und genoss das Studentenleben in der üblichen Weise. Zwischenzeitlich ging er ein Semester nach München, kehrte danach nach Marburg zurück und promovierte im Alter von 22 Jahren bei Prof. Zincke mit einer Arbeit zur Organischen Chemie (*magna cum laude*). Das gesamte Studium wurde vom Vater finanziert.

Anschließend diente er sein Jahr bei einem Infanterieregiment in Frankfurt ab, verzichtete aber auf die Reserveoffizierslaufbahn und ging stattdessen als Zinckes Assistent zurück nach Marburg. In dieser Stellung arbeitete er jedoch nicht selbständig an wissenschaftlichen Fragestellungen, sondern half seinem Professor bei dessen Arbeit.

Bald darauf wurde der Lebensweg von Otto Hahn durch eine Anfrage von außen entscheidend beeinflusst. Ein Chemieunternehmen suchte einen Chemiker mit guten Englischkenntnissen für eine Reisetätigkeit und fragte diesbezüglich bei Prof. Zincke an.

Zincke empfahl Hahn, der allerdings seine Englischkenntnisse zunächst noch verbessern musste. Dazu wurde er im Herbst 1904 von Prof. Zincke mit einer Empfehlung zum hochangesehenen Sir William Ramsey nach London geschickt. Prof. Ramsey hielt eine



Vorlesung über Radioaktivität, in der Otto Hahn eifrig mitarbeitete. Um ihn jedoch auch praktisch zu beschäftigen, gab Ramsey seinem neuen Studenten die Aufgabe, aus einem Gemisch von Radium und Barium das Radium zu isolieren. Mit viel Geschick und sorgfältiger Beobachtungsgabe gelang Hahn nicht nur die Trennung, sondern auch die Entdeckung einer neuen radioaktiven Substanz (^{228}Th), die er Radiothorium nannte. Die dabei gewonnenen Erfahrungen erlaubten es ihm Jahre später, das Spaltfragment Barium zu identifizieren und damit die Kernspaltung zu entdecken. So war Otto Hahn in der Weltstadt London, wo er noch bis zum Sommer 1905 blieb, zum Wissenschaftler geworden. Die Ergebnisse wurden veröffentlicht und Prof. Ramsey empfahl seinem Berliner Kollegen und Freund Emil Fischer, den jungen Wissenschaftler zu fördern.

Nachdem Otto Hahn nach Berlin gereist war, um seine weitere akademische Karriere zu besprechen, erfuhr er, dass die Existenz von Radiothorium von Ernest Rutherford, der zu der Zeit an der McGill Universität in Montreal arbeitete, angezweifelt werde. Daher fragte er bei Rutherford an, ob er nicht einige Zeit bei ihm arbeiten könne, wobei sich wohl auch das Problem mit dem Radiothorium klären ließe. Rutherford stimmte zu und Hahns Vater griff ein weiteres Mal tief in die Tasche und bezahlte seinem Sohn die Schiffspassage nach Kanada. Hier lernte er bald, wie man Halbwertszeiten misst. So konnte er sein Radiothorium vollständig charakterisieren und Rutherfords Zweifel ausräumen. Außerdem entdeckte er Radioactinium (^{227}Th) und untersuchte zusammen mit Rutherford die Alphaerfälle der beiden neuen Isotope.

Als er 1906 nach Deutschland zurückkehrte, ging er zu Emil Fischer an das Chemische Institut nach Berlin, wo er sich ein Jahr später habilitierte. Er entdeckte auch das neue Isotop Mesothorium (^{228}Ra).

Am Ende des gleichen Jahres kam die junge österreichische Physikerin Dr. Lise Meitner nach Berlin und begann eine Zusammenarbeit mit Otto Hahn, die mehr als 30 Jahre dauerte, und aus der sich eine Freundschaft entwickelte, die trotz einiger Belastungen ein Leben lang hielt.

Als im Jahre 1911 aus Anlass des 100-jährigen Jubiläums der Berliner Universität der Kaiser die Gründung neuer Forschungseinrichtungen verkündete, die seinen Namen tragen sollten, entstand in Dahlem das Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Chemie. Hierin erhielt Otto Hahn die Abteilung für Radioaktivität, die erste dieser Richtung in Deutschland. Auch Lise Meitner, die zunächst nur als Gast mitarbeitete, erhielt bald eine feste Anstellung. Endlich hatte Otto Hahn die finanzielle Sicherheit, um sich einen lange gehegten Wunsch zu erfüllen: er heiratete Edith Junghans.

Im neuen Institut begannen Hahn und Meitner die Suche nach einem Element, das zwischen Aktinium ($Z = 90$) und Uran ($Z = 92$) stehen musste und das sie zunächst einmal Abrakadabra nannten. Doch bald schon wurden ihre Forschungen durch den Ausbruch des 1. Weltkrieges unterbrochen. An den Universitäten wurde der Krieg von vielen Professoren moralisch unterstützt und patriotisch verherrlicht. Auch Otto Hahn meldete sich freiwillig. Als es 1915 im Westen zum Stellungskrieg kam, entstand die Idee, Giftgas einzusetzen, um den Gegner aus den Schützengräben zu vertreiben. Prof. Haber setzte sich und sein KWI für Physikalische Chemie und Elektrochemie voll dafür ein, diesen Plan zu realisieren. Da er hierzu Physiker und Chemiker benötigte, wurden Hahn und viele seiner Freunde zur sog. Gasttruppe abkommandiert. Haber argumentierte, dass der Einsatz des Gases den Krieg abkürzen würde und so weniger Menschen sterben müssten. Er hielt es für eine patriotische Pflicht, in diesem Sinne zu handeln.

Über die Erlebnisse und die Grausamkeit des Gaskrieges gibt es keine Zeugnisse der beteiligten Naturwissenschaftler. Dies ist wohl nicht auf die Unfähigkeit zur Rechenschaft zurückzuführen, sondern wahrscheinlich ein Selbstschutz, um nach all dem Grauenhaften überhaupt weiterleben zu können. Ob diese Erlebnisse bei Hahn bewirkten, dass er sich später nie mehr in Waffenforschung einbinden ließ?

Auch während der Kriegsjahre hatten Otto Hahn und Lise Meitner in ihren kurzen Urlauben an ihrer Suche nach dem noch fehlenden Element mit der Ordnungszahl 91 weiterarbeiten können. Noch vor Beendigung des Krieges veröffentlichten sie das Ergebnis ihrer Mühen: sie hatten das fehlende Element gefunden und nannten es Protactinium. Diese Entdeckung brachte Hahn - und auch Lise Meitner - einige Ehrungen ein; er erhielt die Emil-Fischer Medaille, wurde Korrespondierendes Mitglied der Göttinger Akademie und der Leopoldina in Halle und Mitglied der Berliner Akademie. Auch in der Familie stellte sich das Glück ein, im Jahre 1922 wurde Hanno, ihr einziges Kind geboren.

Zu Beginn der Zwanzigerjahre trennten sich die Arbeitsgebiete von Hahn und Meitner. Während Lise Meitner mit Ihren Mitarbeitern auf dem Gebiet der Kernphysik arbeitete, wandte Otto Hahn die Radiochemie auf andere Gebiete der Chemie an. Im Institut herrschte ein Geist offener wissenschaftlicher Diskussion. Obwohl die Mitarbeiter alle ein eigenes Forschungsgebiet hatten, arbeiteten alle an einer gemeinsamen Idee. Die Doktoranden wurden zur selbständigen Arbeit erzogen und mussten versuchen, die auftretenden Schwierigkeiten selbst zu überwinden. Dennoch war Hahn jederzeit bereit, ihnen Hilfe zukommen zu lassen, was häufig insbesondere bei der Interpretation der Ergebnisse nötig war. Insgesamt herrschte im Hahnschen Institut eine für damalige Zeiten außergewöhnlich demokratische Atmosphäre.

Im Jahre 1928 wurde Hahn zum Institutsdirektor ernannt und in den Senat der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft gewählt. In dieser Position stand ihm eine von der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft gebaute Dienstvilla zu. Doch die Familie wünschte sich ein eigenes Heim, das auch bald darauf gebaut wurde. Der erste Logiergast im neuen Haus war Ernest Rutherford und zum Festessen kamen u.a. Planck, Einstein und Haber. Im Urlaub ging Otto Hahn gern mit seinen Brüdern und Freunden in die Berge, so dass er im Laufe der Zeit zu einem begeisterten Bergsteiger wurde. Seine Frau hingegen liebte mehr die See; hierhin konnte sie ihren Sohn, der in jungen Jahren häufiger krank war, gut mitnehmen. In Berlin nahm die Familie am kulturellen Leben teil und besuchte gern Operaufführungen und Konzerte.

Sowohl Hahn als auch Lise Meitner waren als Vortragende geschätzt, so dass sie immer wieder eingeladen wurden, über ihre Forschungsergebnisse zu berichten. Als Otto Hahn eine Einladung von der Cornell University in Ithaca erhielt, reiste er Anfang 1933 für ein halbes Jahr in die USA. Seine Vortragstätigkeit war ein großer Erfolg, doch aus Deutschland erreichten ihn böse Nachrichten. Nachdem Hitler zum Reichskanzler ernannt worden war, dauerte es nicht lange, bis die Notstandsgesetze und Erlässe zur brutalen Durchsetzung nationalsozialistischer Ideen missbraucht wurden. Insbesondere das "Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums" vom 7. April 1933, das alle nicht arischen Beamten von Staatsstellungen ausschloss, traf etliche Freunde und Kollegen von Otto Hahn schwer und hatte auch verheerende Folgen für die deutsche Wissenschaft.

Als Hahn im Juli aus Amerika zurückkam, baten ihn Haber und Planck, der damals Präsident der KWG war, das Haber Institut kommissarisch zu übernehmen. Haber und

seine Abteilungsleiter, die unter das neue Beamtenengesetz fielen, verließen bald darauf Deutschland; die wissenschaftliche Substanz des Instituts war dadurch soweit zusammengeschmolzen, so dass Hahn nur noch versuchen konnte, den Rest solange zu bewahren, bis ein Nachfolger für Haber gefunden war.

Obwohl Lise Meitner Österreicherin war und somit nicht unter das Gesetz fiel, durfte sie keine Vorlesungen mehr halten und auch nicht mehr am Kolloquium teilnehmen. Auf die Fürsprache von Hahn durfte sie zumindest im Institut bleiben. Und sie blieb, obwohl ihr von Freunden Forschungsmöglichkeiten in verschiedenen Ländern angeboten wurden. Sie wollte nicht ihre Arbeit und die Abteilung, die sie selbst aufgebaut hatte, verlassen.

Als Haber nicht lange nach seiner Emigration starb, veranstaltete Max Planck zu seinem Gedenken eine Trauerfeier. Allen Staatsbeamten wurde von der politischen Führung die Teilnahme an dieser Feier verboten. Dennoch sprachen Planck und Hahn, der außerdem eine Rede des abwesenden Professors Bonhoeffer, verlas. Diese Veranstaltung war die letzte öffentliche Würdigung für einen vom Naziregime Ausgestoßenen, der letzte öffentliche Protest gegen die Diskriminierung der Juden.

Auf der anderen Seite ging die Forschung im Institut trotz der tief greifenden politischen Veränderungen weiter. Nachdem Chadwick 1932 das Neutron und die Joliot-Curies bald darauf die künstliche Radioaktivität entdeckt hatten, kam dem Italiener Enrico Fermi die Idee, verschiedene Elemente mit Neutronen zu beschießen. Hierbei entstanden in den meisten Fällen radioaktive Isotope, und Fermi behauptete, dass bei der Bestrahlung von Uran ein sog. Transuran produziert werde.

Als Lise Meitner Fermis Veröffentlichung studierte, war sie bei dessen chemischem Nachweis des Transurans skeptisch und überredete den versierten Radiochemiker Otto Hahn, ähnliche Versuche in Berlin durchzuführen. Ferner wurde Fritz Strassmann, der seit einiger Zeit im Institut war und sich sowohl als exzellenter Analytiker bewährt hatte, in die Arbeiten einbezogen. Obwohl die Theoretiker Gamow, Heisenberg und Bohr argumentierten, dass bei den durchgeführten Reaktionen Transurane entstehen müssten, konnten die Chemiker diese nicht finden wohl, da die produzierten Mengen offensichtlich zu gering waren.

Die Suche nach den Transuranen war in vollem Gange, als Hitler 1938 deutsche Truppen nach Österreich einmarschieren ließ. Österreich wurde Teil des Dritten Reiches und damit Lise Meitner deutsche Staatsbürgerin, wodurch sie von nun an unter die Rassengesetze fiel. Einige Monate dachten Hahn und Lise Meitner darüber nach, ob sie unter den gegebenen Umständen in Berlin bleiben könnte oder besser emigrieren sollte. Dann gab es im Sommer 1938 nur noch die Flucht, die sie nach Stockholm führte, wo ihr für ihre wissenschaftliche Arbeit praktisch alles fehlte. Obwohl sie verzweifelt war, war der Schritt wohl doch der richtige, wie sich im November nach der Reichskristallnacht unmissverständlich herausstellte.

Auch ohne Lise Meitner ging in Berlin die Suche nach den Transuranen weiter. Die Berliner Gruppe war jedoch nicht die einzige, die sich diesem Thema verschrieben hatte. Auch in Paris waren Irene Joliot-Curie und ihr Mann den Transuranen auf der Spur. Als von dort Ergebnisse publiziert wurden, die der Berliner Gruppe etwas eigenartig vorkamen, machten sich Hahn und Strassmann daran, diese Ergebnisse genau zu prüfen. Waren bei den Reaktionen etwa Radiumisotope entstanden? Mit äußerst sorgfältigen Methoden versuchten die beiden, die radioaktiven Radiumatome zu isolieren. Wegen der äußerst geringen Mengen wurde u.a. zunächst das chemisch verwandte Element

Barium zugesetzt, das dann später durch fraktionierte Kristallisation wieder vom Radium abgetrennt werden sollte. Doch bei der vorliegenden Mischung gelang diese Trennung nicht. Als auch andere Versuche zum Nachweis des Radiums fehlschlagen, blieb nur der Schluss, dass bei der Reaktion kein Radium, sondern Barium entstanden sei. Doch für die Aufklärung dieses Rätsels suchte Hahn den Rat eines Physikers. Er wandte sich jedoch nicht an seine Berliner Kollegen, sondern sandte das Manuskript für die Veröffentlichung im Dezember 1938 an Lise Meitner mit der Bitte um eine *"phantasievolle Erklärung"* und schrieb u.a.: *"Wir können unsere Ergebnisse doch nicht totschweigen, auch wenn sie physikalisch vielleicht absurd sind."*

In den Tagen zwischen Weihnachten und Neujahr traf Lise Meitner ihren Neffen Otto Robert Frisch, der eigentlich zum Skifahren nach Schweden gekommen war. Stattdessen diskutierten sie die Frage, was mit den von einem Urankern eingefangenen Neutronen geschieht. Dabei kamen sie zu dem Schluss, dass der zusammengesetzte Kern instabil wird und zerplatzt, wobei eine große Energiemenge freigesetzt wird. Die Kernspaltung von Uran in mittelschwere Kerne war entdeckt. Danach arbeiteten Hahn und seine Mitarbeiter bis zum Jahre 1944 an der Trennung und Untersuchung der bei der Kernspaltung entstehenden Elemente.

Später nahm Hahn an den Sitzungen des Reichsforschungsrates und des Heereswaffenamtes teil, in denen es um die Frage ging, ob die Kernspaltung als Waffe verwendet werden könne. Als Chemiker konnte er jedoch wenig zu den Fragen der Entwicklung eines Reaktors und dem Bau einer Bombe beitragen. Ob ihn diese Fragen damals überhaupt interessiert haben, ist ungeklärt.

Während des Krieges wurden die Bedingungen auf vielen Gebieten noch schwieriger. Regimegegner konnten ihren jüdischen Freunden kaum noch helfen, jegliche Form von Kritik wurde gefährlich, selbst die Nennung jüdischer Verdienste war verboten. Doch das hielt Otto Hahn nicht davon, in Vorträgen die Zusammenarbeit mit Lise Meitner und die von ihr und Frisch gegebene Erklärung der Kernspaltung zu erwähnen.

Als im Februar 1944 das KWI bei einem Bombenangriff schwer beschädigt wurde, wurde das Institut nach Tailfingen verlegt und Hahn und seine Mitarbeiter mussten dorthin umziehen. Im November desselben Jahres erhielt Hahn dann die Nachricht, dass er für den Nobelpreis für Chemie vorgesehen sei. Eigentlich ein Grund zur Freude, wirkte doch diese Nachricht wie ein Schock. Denn nach der Verleihung des Friedensnobelpreises an Carl von Ossietzki im Jahre 1935 war es keinem Deutschen mehr erlaubt, einen Nobelpreis anzunehmen. Es gelang Hahn und seinen Freunden, den schwedischen Kollegen die Probleme zu erklären, so dass die öffentliche Bekanntmachung unterblieb.

Im April 1945 wurde Tailfingen widerstandslos von den Franzosen besetzt. Mit ihnen kam eine kleine Gruppe von Amerikanern, die die Labors durchsuchte, Akten beschlagnahmte und Hahn verhaftete. Er wurde schließlich in ein abgelegenes Landhaus, Farm Hall, in England gebracht, wohin auch bald darauf neun Physiker, u.a. M. von Laue, C.F. von Weizsäcker, W. Heisenberg und W. Gerlach, gebracht wurden. Diese zehn Wissenschaftler blieben dort bis zum Januar des nächsten Jahres interniert und von Informationen aus Deutschland weitgehend abgeschnitten. Die Nachricht vom Abwurf der Atombombe auf Hiroshima am 6. August 1945 wurde ihnen von den Bewachern mitgeteilt. Am gleichen Tag schrieb Hahn in sein Tagebuch folgende Sätze: *"Ich verliere fast wieder etwas die Nerven bei dem Gedanken an das neue große Elend, bin aber andererseits sehr froh, dass nicht wir Deutschen, sondern die alliierten Anglo-*

Amerikaner dieses neue Kriegsmittel gemacht und eingesetzt haben. Ich brauche aber eigentlich keinen Trost. Schließlich habe ich das gute Gewissen, dass ich weder bei der Entdeckung noch später die Uranspaltung als Kriegsmittel einsetzen wollte; dass ich ja erst glücklich war, als ich (1939 oder 1940) hörte, eine Bombe könne erst nach einer laufenden Maschine [ein Kernreaktor] kommen und dass Jahre notwendig seien, bis man an eine laufende Maschine denken könne. Und ich freue mich jetzt, dass wir keine Mittel und Wege hatten, eine Bombe zu entwickeln, denn hätte man sie in Deutschland während des Krieges machen können, dann wäre man wohl gezwungen worden, sie gegen England einzusetzen. Mir ein unerträglicher Gedanke. Den Ruhm lasse ich neidlos den Amerikanern." Aus diesen Zeilen wird auch ersichtlich, dass Hahn damals die Beweggründe der Emigranten zur Mitarbeit an der Bombe nicht verstand.

Noch in der Internierung erreichten Otto Hahn zwei wichtige Nachrichten: Erstens wurde ihm am 16.11.1945 der Nobelpreis für Chemie zuerkannt, zweitens erhielt er einen Brief von Max Planck, in dem ihm mitgeteilt wurde, dass er die Nachfolge des verstorbenen Präsidenten der KWI übernehmen möge. Anfang des Jahres 1946 beendeten die Engländer die Internierung und brachten die zehn Wissenschaftler schließlich nach Göttingen (in der britischen Zone). Hahn erhielt in einem ehemaligen Forschungsinstitut ein karg möbliertes Zimmer ohne Telefonanschluß und war ab dem 1.4.1946 offiziell Präsident der KWG. Damit hatte er eine schwierige Aufgabe übernommen, u.a. weil der alliierte Kontrollrat die Auflösung der Gesellschaft erwog. Letztlich wurde man sich einig, dass die Gesellschaft erhalten bleiben konnte, jedoch unter einem neuen Namen. So erfolgte im September 1946 die Gründung der Max-Planck-Gesellschaft, jedoch zunächst nur in der britischen Zone. Bald darauf durften Otto Hahn und seine Frau unter britischer Bewachung nach Stockholm reisen, um den Nobelpreis entgegenzunehmen. Hierbei trafen die Hahns auch Lise Meitner wieder. Die mit dem Nobelpreis verbundene Summe konnte Otto Hahn damals noch nicht entgegennehmen, da Deutschen der Besitz ausländischer Währungen verboten war. Hahn hat einen Teil des Preisgeldes an Straßmann und Meitner weitergegeben, und sie hat ihren Anteil dem Notkomitee für Atomphysiker überwiesen, das in Princeton saß und von Einstein geleitet wurde, der sich mit herzlichen Grüßen bei ihr bedankte.

Erst nachdem Hahn mit viel Verhandlungsgeschick die Zustimmung der amerikanischen Behörden erhalten hatte, konnte im Februar 1948 die heutige Max-Planck-Gesellschaft (MPG) gegründet werden. Hahn war zu diesem Zeitpunkt nahezu 70 Jahre alt und musste unter schwierigen Umständen herumreisen, um Geld für die Gesellschaft zu erbetteln und für die friedliche Nutzung der Kernenergie zu werben. Außerdem bemühte er sich darum, die früheren Mitglieder der KWG nun als auswärtige Mitglieder der MPG zurückzugewinnen. Das gelang ihm in vielen Fällen, Albert Einstein lehnte diesen Wunsch allerdings entschieden ab, obwohl er auch über den Krieg hinweg ein gutes persönliches Verhältnis zu Hahn bewahrt hatte.

Als sich der Konflikt zwischen den einstigen Verbündeten USA und Sowjetunion verschärfte und ein neuer Krieg mit dem Einsatz von Atomwaffen drohte, setzte sich Otto Hahn nachdrücklich für ein Verbot von Nuklearwaffen ein. Er war auch maßgeblich am Zustandekommen von zwei Aufrufen beteiligt, von denen der eine vor dem Einsatz von Atomwaffen warnte und der andere sich gegen die Pläne der Regierung Adenauer aussprach, die Bundeswehr mit taktischen Atomwaffen auszurüsten. Hierbei half ihm sein hohes Ansehen, das er inzwischen erworben hatte. Er hatte nicht nur sehr

viele Preise erhalten, sondern war auch Mitglied vieler Akademien und mehrfacher Ehrenbürger.

Als Otto Hahn 80 Jahre alt wurde, war es an der Zeit, für ihn einen Nachfolger an der Spitze der MPG zu finden. Im Jahre 1960 übergab Hahn die Präsidentschaft an Adolf Butenandt.

Wenige Monate später verunglückten Hanno Hahn und dessen Frau tödlich; dies war ein Schicksalsschlag, der die Eltern Hahn schwer traf. Hahns Frau war längere Zeit krank und er selbst von tiefer Trauer getroffen. Doch die Vortragstätigkeit ging weiter. Ihm blieb noch fast ein Jahrzehnt, das er weiterhin mit Reisen und Vorträgen ausfüllte, bis er 1968 nach einem längeren Krankenhausaufenthalt im Alter von 89 Jahren starb.

Quellen:

1. <http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/KWG/Ergebnisse/Ergebnisse10.pdf>
2. http://www.hmi.de/hmi/biographie_otto_hahn_125.pdf