



Prof. Dr. Werner Heisenberg
5. Dezember 1901 – 1. Februar 1976.
Deutscher Physiker.
1927-1941 Professor für theoretische
Physik in Leipzig und Berlin. Seit 1941
Direktor des Max-Planck-Instituts für
Physik in Berlin, Göttingen und Mün-
chen. Die «Heisenbergsche Unschär-
ferelation» von 1927 wird Grundlage
der «Kopenhagener Deutung» der Quan-
tentheorie. 1932 dafür den Nobelpreis
für Physik. Seit etwa 1953 Arbeit an
einer einheitlichen Theorie der Materie,
der sog. «Weltformel».

**Die damals präsentierten
Abbildungen liegen heute
leider nicht mehr vor.*

Professor Dr. Werner Heisenberg
Göttingen

«Die Möglichkeiten der Atomtechnik in Deutschland»

Meine Damen und Herren! Darf ich zunächst dem Übersee-Club meinen herzlichsten Dank für seine Einladung aussprechen, ebenso auch Herrn Bürgermeister Petersen für die freundlichen Worte, mit denen er die Sitzung eröffnet hat. Es ist für mich eine große Freude, vor dem Übersee-Club zu sprechen, nicht nur, weil dieser Club sozusagen die wirtschaftliche Macht und damit eben doch die Größe und Bedeutung der alten Hansestadt repräsentiert, sondern auch, weil mir daran liegt, die Herren aus der Wirtschaft für die Probleme der Atomenergie zu interessieren. Denn die Zeit, in der man von der Atomenergie im Stil von Jules-Verne-Romanen sprach, ist ja längst vorbei. Man kann jetzt über diese Fragen völlig sachlich reden wie über alle anderen Zweige der Technik, und ich möchte daher versuchen, Ihnen heute ein nüchternes, möglichst nach keiner Seite übertriebenes Bild von den Möglichkeiten der Atomtechnik zu geben.

Sobald der Generalvertrag in Kraft getreten ist, wird Deutschland eine gewisse Freiheit auf dem Gebiet der friedlichen Atomtechnik erhalten. Ich betone das Wort «friedliche» Atomtechnik, denn die kriegerische Anwendung der Atomtechnik wird in Deutschland weiterhin verboten sein, und wir Deutschen haben gar keinen Grund, darüber unglücklich zu sein, dass wir mit diesem Teil der Atomtechnik nichts zu tun haben. Es soll sich also um friedliche Atomtechnik handeln; auch die wird in Deutschland nur in sehr eingeschränktem Maße betrieben werden können. Die Einschränkungen seien durch ein paar Zahlen charakterisiert: Es wird Uranbergbau in Deutschland erlaubt sein, jedoch darf die jährliche Ausbeute den Wert von neun Tonnen reinen Uranmetalls nicht überschreiten. Ferner wird es Deutschland erlaubt sein, einen kleinen Atom-Reaktor zu bauen, der eine Leistung von 1500 Kilowatt erreicht. Um klar zu machen, was diese Grenzen bedeuten und was überhaupt wirtschaftlich auf diesem Gebiet in Deutschland getan werden kann, möchte ich so vorgehen, dass ich Ihnen zunächst einige der physikalischen Grundbegriffe erläutere, um die es sich in der Atomtechnik handelt und ohne die auch die technischen und praktischen Möglichkeiten kaum verstanden werden können. Dann will ich die historische Entwicklung schildern, angefangen von den Versuchen, die in Deutschland während des Krieges gemacht worden sind, Atomenergie zu gewinnen, bis zu der großartigen Entwicklung der Atomtechnik in Amerika. Man muss sich darüber klar sein, dass Amerika nicht nur auf dem Gebiet der kriegerischen, sondern auch der friedlichen Atomtechnik allen europäischen Ländern sehr weit voraus ist. Erst wenn diese technische Entwicklung, die gerade in den letzten Monaten einige bedeutende Erfolge aufzuweisen hatte, beschrieben worden ist, kann ich auf die wirtschaftlichen Fragen eingehen. Ich will dann versuchen, Ihnen an Hand von Zahlen zu schildern, was man sich von einer wirtschaftlichen Ausnutzung der Atomenergie in Amerika zur Zeit verspricht, und am Schluss soll es sich um die Frage handeln: Wieweit kann auch in Deutschland die Atomenergie wirtschaftlich ausgenutzt werden?

Zunächst zu den physikalischen Grundbegriffen: Zu jedem chemischen Element gehört eine Atomsorte. Das Atom ist nicht letzter, unteilbarer Bestandteil der Materie, sondern ist aus drei Grundbausteinen aufgebaut. Das Atom hat einen Kern und eine Hülle. Für die Hülle, die aus Elektronen besteht, brauchen wir uns nicht weiter zu interessieren, Elektronen sind locker an den Atomkern gebunden. Alle chemischen Umsetzungen spielen sich an der Atomhülle ab, und darum wird im chemischen Prozess nur relativ geringe Energie freigesetzt. Der Atomkern besteht aus zwei Sorten von Baustoffen: den Protonen und Neutronen. Das sind nun wirklich letzte, unteilbare Baustoffe der Materie. Für jede Atomsorte lässt sich angeben, wie viele Protonen und Neutronen in einem Atomkern vorhanden sind. Der Atomkern

ist ein sehr stabiles Gebilde, bei ihm handelt es sich um Energiebeträge, die Millionen Mal größer sind als die Energiebeträge in der Atomhülle. Daher wird bei einem Atomkernumwandlungsprozess etwa eine Million Mal mehr Energie umgesetzt als beim chemischen Prozess. Ein paar Beispiele: Das Wasserstoffatom besteht aus einem Atomkern mit nur einem Proton, um das ein Elektron kreist. Es gibt aber auch den so genannten «schweren» Wasserstoff; bei ihm besteht der Atomkern aus einem Proton und einem Neutron. Die schwersten Atomkerne, die des Elements Uran, bestehen aus 92 Protonen und – die normalen Kerne – aus 146 Neutronen; es gibt aber auch Uran-Atomkerne, die nur 143 Neutronen enthalten. Diese Zahlen nur als Beispiel dafür, dass man jedes Atom durch die Zahl der Bausteine charakterisieren kann.

Die Atomtechnik hat im Jahre 1938 mit der berühmten Entdeckung der Uranspaltung durch Otto Hahn in Berlin begonnen. Otto Hahn hat gefunden, dass die schwersten Atomkerne in einer merkwürdigen Weise zerbrechlich sind. Wir können uns diese Zerbrechlichkeit anschaulich so vorstellen: Die Protonen im Kern haben eine positive elektrische Ladung, das Neutron ist neutral und hat keine Ladung. Durch die Ladung werden die Protonen voneinander abgestoßen. Diese elektrischen Kräfte suchen also den Atomkern zu zerreißen. Dieser Kraft der elektrischen Abstoßung wirkt eine Anziehungskraft kurzer Reichweite zwischen Proton und Neutron entgegen. Beim schweren Atomkern ist die Abstoßung schon sehr groß, und wenn man den Atomkern etwas anstößt, so gerät er in Schwingung und zerreißt in zwei Teile. Das war die entscheidende Entdeckung der so genannten «Uran-Spaltung». Nun ist schon kurz nach dieser Entdeckung auch noch auf eine Einzelheit hingewiesen worden, die für die Atomtechnik von großer Wichtigkeit ist: Die Atomkerne – auch die schwersten – sind verschieden stabil. Es gibt eine allgemeine Regel, die ich hier nicht erklären, sondern nur anführen kann, dass Atomkerne mit einer geraden Zahl von Protonen und Neutronen stabiler sind als solche, bei denen eine dieser Zahlen ungerade ist. So konnte Hahn nachweisen, dass die Atomkerne mit ungerader Neutronenzahl schon gespalten werden können durch ganz langsame Neutronen, wenn sie den Atomkern treffen. Ein Neutron stößt, auch wenn es nur mit kleiner Geschwindigkeit ankommt, den Atomkern so sehr an, dass er auseinanderfliegt. Beim Atomkern mit einer geraden Anzahl von Neutronen und Protonen dagegen braucht man Neutronen von ganz erheblicher Energie, um so zu treffen, dass der Kern auseinanderfliegt. Aus diesem Unterschied folgt eine sehr wichtige Unterscheidung zwischen dem, was man etwa «starke Kernbrennstoffe» und «schwache Kernbrennstoffe» nennen kann. Die schweren Atomkernsorten mit ungeraden Neutronenzahlen gehören zu den starken Kernbrennstoffen. Sie können ganz leicht dazu gebracht werden, ihre Energie durch Spaltung abzugeben. Das sind tatsächlich die Sprengstoffe, die man für Atombomben braucht. Die anderen Atomkerne können zwar im Prinzip auch ihre Energie durch Spaltung abgeben, sind auch eigentlich «Brennstoffe» und können verbrannt werden, aber sie sollen «schwache Kernbrennstoffe» genannt werden, weil es eben schwieriger ist, aus ihnen Energie herauszuholen.

Zu den starken Kernkraftstoffen (Bild*) gehört der Uran-Atomkern vom Gewicht 235. U 235 wird als Isotop des Urans bezeichnet. chemisch ist U 235 Uran, aber mit der bestimmten Atomkern-Sorte vom Atomgewicht 235. Dieser Kern kann durch langsame Neutronen gespalten werden. Das gleiche gilt vom Element Plutonium vom Atomgewicht 239, und schließlich vom Uran 233. Alle drei Atomkernarten gehören zu den «starken Kernbrennstoffen» und sind als Sprengstoff für Atombomben geeignet. Demgegenüber stehen die schwachen Kernbrennstoffe: Uran vom Atomgewicht 238 und Thorium vom Atomgewicht 232. Das sind die wichtigsten dieser Substanzen. Schließlich noch eine praktisch wichtige Zahl: Das natürliche Uran, das man aus dem Berg gräbt, ist eine Mischung aus dem Uran 238 und Uran 235. Das natürliche Uran besteht zu 99,3 Prozent aus schwachem Kernbrennstoff und nur zu 0,7 Prozent aus starkem Kernbrennstoff.

Bei der Atomkernspaltung hat sich kurze Zeit nach der Hahnschen Entdeckung noch ein weiteres wichtiges Ergebnis herausgestellt: Bei dem Zerbrechen des Atomkerns fliegen aus den einzelnen Trümmern auch noch Neutro-

nen heraus. Diese Trümmer enthalten zuviel Neutronen gegenüber den gleichschweren stabilen Atomkernen. Die überschüssigen Neutronen werden abgespalten, und dadurch ist die Möglichkeit einer Kettenreaktion gegeben; die Neutronen, die bei einer solchen Spaltung freigemacht worden sind, können auf andere Kerne treffen und sie wiederum spalten, und so geht die Spaltung lawinenartig weiter, so dass in kurzer Zeit ein großer Teil der Uranatomkerne in dem betreffenden Stück zerspalten werden kann. Wenn dieser ganze Prozess wirklich als Lawine in ganz kurzer Zeit abläuft, so handelt es sich um eine typische Atomexplosion. In einer normalen Atombombe dauert die ganze Kettenreaktion weniger als eine Millionstel Sekunde.

Man kann aber eine derartige Kettenreaktion auch steuern. Zunächst sei die Kettenreaktion durch ein Schema erläutert (Bild*): Auf einen Urankern vom Gewicht 235 trifft zufällig irgendein Neutron eines zerspaltenen Kerns. Es werden zwei, drei oder mehr Neutronen frei, im Mittel sind es etwa 2,5; diese Neutronen treffen ihrerseits wieder auf Atomkerne vom Uran 235, spalten sie, und so geht die Reaktionskette durch. Nun macht es allerdings einen großen Unterschied, ob dieser Prozess in einem Stück aus reinem Uran 235 oder in einem Stück natürlichen Uran abläuft. Im Gegensatz zum Uran 235 geht im gewöhnlichen Uran die Reaktionskette nicht durch, da hier normalerweise ein großer Teil der Neutronen vom Uran 238 eingefangen wird, und das Uran 238 wird verwandelt in Uran 239, das dann durch radioaktive Prozesse in Plutonium umgewandelt wird. Dann findet keine Kettenreaktion statt. Man kann aber durch einen Kunstgriff doch eine Kettenreaktion auslösen, indem man die Neutronen, die aus dem Uran 235 kommen, durch einen so genannten Moderator abbremst, sie verlangsamt, so dass sie nur noch Wärmegeschwindigkeit haben. In diesem Zustande haben sie nämlich – aus Gründen, die ich hier nicht erläutern kann – eine größere Chance, auf Uran 235 als auf Uran 238 zu treffen, und dadurch kann man die Kettenreaktion in Gang halten.

Diese Reaktionskette hat den besonderen Vorteil, dass sie leicht zu steuern ist. Je nach der Gesamtmenge und Anordnung dieser Mischung aus Uran und Moderator stellt sich nämlich von selbst eine bestimmte Temperatur ein. Wenn man der Mischung Energie entzieht, so kühlt sich der ganze Brenner im ersten Moment etwas (aber sehr wenig) ab, sofort kommt die Reaktion wieder stärker in Gang und die Energie wird nachgeliefert. In dieser Weise hält sich der Brenner ständig auf einer konstanten Temperatur und man kann ihm trotzdem sehr viel Energie entziehen. Dieses Prinzip ist schon während des Krieges entdeckt worden, und zwar unabhängig voneinander in Amerika und in Deutschland. Es sind auf beiden Seiten Versuche gemacht worden, um die Kettenreaktion in die Praxis umzusetzen. In Amerika ist der erste Brenner dieser Art, der Atomwärme geliefert hat, im Dezember 1942 fertig und in Gang gesetzt worden. In Deutschland sind die Pläne zu dem Kernreaktor im Juni 1942 fertig gewesen, aber die Materiallieferungen konnten nicht so schnell erfolgen.

Selbst im Jahre 1944 und Anfang 1945 war noch nicht genügend Material vorhanden, um den ersten Reaktor fertigzubauen (Bild*). Das Bild zeigt das Innere des deutschen Reaktors, der damals in Haigerloch in Württemberg gestanden hat. Ich betone nochmals, er ist nie ganz fertig geworden. Das Bild zeigt, wie die Uran-Stücke an Aluminiumdrähten aufgereiht, in einen Topf mit schwerem Wasser gesenkt werden. Schweres Wasser eignet sich besonders gut als Moderator oder Bremssubstanz, wie wir es genannt haben. Wenn die gezeigte Anordnung eine bestimmte Größe überschreitet, so fängt die Mischung aus Uran und schwerem Wasser von selbst an zu strahlen und die Atomenergie in Wärme zu verwandeln. Es ist damals, wie gesagt, nicht dazu gekommen, weil wegen der Kriegslage nicht genügend Material verfügbar war. Aber wir wissen heute auch aus der amerikanischen Literatur, dass die Konstruktionsprinzipien richtig waren. – Nun bitte ich Sie aber, dieses Bild nicht etwa als die Illustration einer modernen technischen Einrichtung anzusehen, vielmehr so zu betrachten, wie man etwa im Museum das Modell der ältesten Dampfmaschine ansieht. Das heißt, eine solche Konstruktion ist jetzt hoffnungslos veraltet. Inzwischen hat die Atomtechnik ungeheure Fortschritte gemacht, vor allem in Amerika.

In welcher Richtung hat sich die Technik entwickelt? Zunächst seien die Ziele dieser Entwicklung kurz geschildert und dann auseinandergesetzt, auf Grund welcher besonderen technischen Erfindungen oder Erfahrungen man in Amerika die Fortschritte erzielt hat. Zunächst die Ziele: man baut heutzutage in Amerika nicht mehr diese Atom-Reaktoren aus der ersten Zeit der Atomtechnik, die nur wenig Wärme oder Strahlung liefern, sondern man baut sie für ganz bestimmte Zwecke, im Wesentlichen dreierlei verschiedener Art: Entweder man wünscht Atom-Reaktoren für starke Strahlungsintensität, um radioaktive Substanzen zu erzeugen für medizinische Anwendungen, zum Beispiel bei der Krebsbehandlung, oder für viele verschiedene Zwecke der chemischen Industrie. Diese radioaktiven Substanzen werden zur Zeit von England und Amerika laufend exportiert. Deutschland bezieht schon jetzt etwa jährlich für einige hunderttausend Mark radioaktive Substanzen aus dem Ausland, und es ist wohl zu erwarten, dass sich dieser Betrag in den nächsten Jahren noch steigern wird. – Man kann zweitens einen Kern-Reaktor bauen, der hauptsächlich Energie liefert, wobei die durch die Uranspaltung freiwerdende Energie etwa benutzt wird, um eine Maschine zu treiben. – Man kann schließlich drittens den Uran-Brenner benutzen, um damit starke Kernbrennstoffe zu erzeugen. Ich hatte vorhin schon gesagt, dass in der Kettenreaktion des Reaktors sich aus dem Uran 238 auch das Uran 239 bildet; das heißt, es bildet sich im Reaktor der Sprengstoff Plutonium. Man hat in Amerika während des Krieges, als man besonders am Sprengstoff interessiert war, große Reaktoren aufgestellt, um Plutonium zu erzeugen.

Auf dieses Ziel soll nachher noch im Einzelnen eingegangen werden; aber zuerst soll noch gesagt werden, welche technischen Fortschritte in Amerika die Voraussetzung für die Lösung der genannten Probleme geschaffen haben.

1. Amerika besitzt seit einigen Jahren – eigentlich schon seit dem Kriege – große Mengen von starken Kernbrennstoffen. Man braucht sie zunächst für die Bombenproduktion. Man kann aber selbstverständlich Reaktoren sehr viel besser bauen, wenn man starke Kernbrennstoffe, nicht nur natürliches Uran verwendet. Die modernen Reaktoren der Amerikaner arbeiten fast durchgehend mit den starken Kernbrennstoffen.

2. Amerika hat die Technologie der Reaktoren weiterentwickelt; es handelt sich dabei um die Chemie und Metallurgie der Stoffe, die im Reaktor verwendet werden können und über die vor Jahren noch fast nichts bekannt war. Auch hier besitzen die Amerikaner Kenntnisse, die weit über das in Europa Bekannte hinausgehen.

3. Man ist in Amerika von dem Typ des Reaktors, der mit langsamen Neutronen arbeitet, übergegangen zu Reaktoren, die mit schnellen Neutronen arbeiten, bei denen die Kettenreaktion also ähnlich wie in der Atombombe abläuft. Diese Reaktoren sind sozusagen gesteuerte Atombomben. Das klingt sehr gefährlich; aber es ist offensichtlich der amerikanischen Technik möglich geworden, diesen Prozess so vollständig zu kontrollieren, dass meines Wissens mit diesen schnellen Reaktoren niemals ein Unfall erfolgt ist.

4. Schließlich ist es der amerikanischen Reaktor-Technik gelungen, auf hohe Temperaturen überzugehen. Bei den älteren Reaktoren, zum Beispiel vom Typ des Haigerloch-Modells, konnte man kaum über die Temperatur des siedenden Wassers kommen, und damit war die Ausbeute an technischer Energie von vornherein ganz gering. Es lohnte gar nicht, damit Maschinen anzutreiben. Bei der modernen amerikanischen Entwicklung kommt man offenbar ohne ernstliche Schwierigkeiten auf Temperaturen von etwa 350 Grad Celsius, und damit kann man die Energie schon durchaus nutzbringend, zum Beispiel für den Turbinenantrieb, verwenden.

In dieser Weise also hat sich in den letzten zehn Jahren in Amerika eine ganz erstaunliche technische Entwicklung vollzogen, die nur dadurch verständlich wird, dass in Amerika viele Milliarden Dollar für diese Entwicklung ausgegeben worden sind und dass Hunderttausende von Menschen nur auf diesem Gebiet arbeiten.

Sehr deutlich wird dieser Fortschritt auch, wenn man die amerikanische Literatur studiert und sieht, was etwa da an Konstruktionszeichnungen von

Atomreaktoren veröffentlicht wird. Ich werde zunächst einige Zeichnungen aus dem Jahre 1948 zeigen. Das sind Bilder, die die richtigen Konstruktionsprinzipien zeigen, denen man aber doch ansieht, dass es nur grundlegende Konstruktionsschemata sind, in denen die technischen Detailprobleme noch nicht gelöst sind.

1. Bild: Ein Reaktor mit Bremssubstanz (schweres Wasser oder Graphit). Eine Kühlflüssigkeit geht durch den Reaktor hindurch, tauscht die entzogene Wärme an einer anderen Stelle aus, und im Wärmetauscher wird heißer Dampf erzeugt, der die Turbine treibt.

Kommentar: nach diesem Schema allein würde man einen technisch brauchbaren Apparat noch nicht bauen können.

2. Bild: Eine Zeichnung, die im Hinblick auf ganz neue Entwicklungen in der amerikanischen Atomtechnik besonders interessant ist: Hier wird nicht die Kühlflüssigkeit herumgeführt, sondern der Brennstoff selbst ist flüssig gemacht. Dieser flüssige Kernbrennstoff fließt direkt in den Wärmeaustauscher, erhitzt dort eventuell Wasser, und von da wird Energie zur Turbine gebracht.

Kommentar: Dieses Prinzip des flüssigen Kernbrennstoffs wird sich im Laufe der Zeit sicherlich noch als nützlich erweisen. Aber auch von dieser Konstruktionszeichnung ist es bis zur praktischen Durchführung natürlich noch ein weiter Weg.

3. Bild: Schema eines U-Bootes, das von einem Atom-Reaktor getrieben wird. Reaktor wieder mit Wärmetauscher und entsprechendem Turbinenantrieb. Der Reaktor umgeben von dicker Schicht Strahlenschutzmaterials wegen der enormen radioaktiven Strahlung, gegen die die Schiffsbesatzung geschützt werden muss.

Kommentar: Die Konstruktionszeichnung ist verhältnismäßig primitiv und die praktische Durchführung schwer. Immerhin: In Amerika werden jetzt U-Boote mit Atom-Reaktor gebaut. Die Konstruktion ist jetzt sicher in einem Zustand, in dem sie technisch verwirklicht werden kann.

Nun aber zu dem modernen Reaktor, also zu der Entwicklung, die sich in Amerika in den letzten Jahren vollzogen hat. Es wurden drei Ziele genannt, für die man den Reaktor bauen kann. Ein Ziel ist etwa der Reaktor, der eine möglichst hohe Strahlungsintensität liefern soll. Der Zweck solcher Reaktoren kann sein, radioaktive Stoffe für medizinische oder chemische Zwecke zu produzieren; in einem bestimmten Fall – ich werde Ihnen hernach das Bild zeigen – ist der Reaktor nur gebaut worden, um die Eigenschaften von Materialien unter ganz starker Bestrahlung zu prüfen (folgt Bild*). Dies ist einer der modernsten Reaktoren in Amerika. Er heißt «Material Testing Reactor». Seine Aufgabe ist, eine so starke Strahlungsintensität zu erzeugen, dass das Verhalten verschiedener Materialien unter dem Einfluss größter Strahlungsintensität untersucht werden kann. Die Stärke der Strahlungsintensität kann durch folgende Angabe charakterisiert werden: Der Reaktor ist im Wesentlichen mit Wasser gefüllt. Im Zentrum ist Uran 235 in dünnen Schichten so angebracht, dass ein sehr starker Wärmeaustausch möglich wird. In diesem Zentralgebiet entsteht durch Kettenreaktion eine große Wärmemenge, und zwar in der Größenordnung von mehreren hundert Kilowatt pro Liter. Das ist eine ungewöhnlich hohe Leistungsdichte.

Diese Art von Reaktoren kann zur Erzeugung von radioaktiven Substanzen benutzt werden. Eine solche Anwendung gehört zur friedlichen und damit erfreulichen Seite der Atomtechnik. Hier wird Atomenergie indirekt für medizinische Zwecke nutzbar. Der Reaktor hier ist zwar nicht für solche Zwecke gedacht, wohl aber sind andere dafür da, zum Beispiel einer im Argonne-Laboratorium bei Chicago. In dieser Station befinden sich mehrere Krebskranke, in denen man Krebskranke mit radioaktiven Substanzen bestrahlt. Zu welchen technischen Komplikationen solches Verfahren zwingt, sei noch an einem Bild erläutert: Wenn man radioaktive Substanzen erzeugt und sie zur Krankenbehandlung verwertet, wird man auch immer radioaktiven Abfall haben, der sehr vorsichtig aufbewahrt werden muss, weil

radioaktiver Substanzen für den Menschen gefährlich sind. Welche Vorkehrungen getroffen werden müssen, um Abfallprodukte zu sammeln und wegzuschaffen, zeigt das Bild der im Keller des Krebsospitals aufgestellten Tanks (Bild*).

Ein zweites Ziel des Reaktorbaues ist die Energiegewinnung. Dabei handelt es sich darum, aus dem Reaktor Wärme zu entnehmen, um mit ihr Maschinen zu treiben. Diese Möglichkeit setzt voraus, dass man den Reaktor mit hohen Temperaturen betreibt, und es ist in der letzten Zeit möglich gewesen, Reaktoren zu bauen, die bis zu 350 Grad Celsius aushalten und mit denen man tatsächlich Turbinen in Bewegung setzen kann.

Das Problem der Energieerzeugung ist aber gerade in der letzten Zeit noch mit einem anderen, viel wichtigeren Problem verkoppelt worden, mit der Konstruktion des so genannten Brut-Reaktors. Während des Krieges hat man Reaktoren gebaut, um den Sprengstoff Plutonium zu erzeugen. Man hatte ja – das wussten wir auch schon 1942 in Deutschland – zwei Methoden, um Kernsprengstoff zu produzieren. Man konnte entweder aus gewöhnlichem Uran das Isotop 235, d. h. den Sprengstoff, abzutrennen suchen. Das Abtrennen von Isotopen ist ungeheuer kompliziert und erfordert riesige und außerordentlich kostspielige Einrichtungen. Die zweite Möglichkeit: Man baut Reaktoren und in den Reaktoren entsteht Plutonium. Nun hat man es sich zuerst in Amerika klargemacht, dass diese Erzeugung des Plutoniums im Reaktor im Großen unzweckmäßig ist. man erzeugt im Reaktor zwar das Element Plutonium, aber man verbrennt den starken Kernbrennstoff Uran 235. In den Reaktoren der ersten Zeit entstehen für 100 g Uran 235, die verbrannt werden, etwa 80 g Plutonium. Man gewinnt also zwar den starken Kernbrennstoff Plutonium, den man dann leicht abtrennen kann, aber man verbraucht dabei eine größere Menge des Kernbrennstoffs U 235. Daher ist schon während des Krieges und insbesondere nach dem Kriege die Entwicklung in Amerika so gelaufen, dass man trotz der enormen Kosten starken Kernbrennstoff bevorzugt durch Isotopen-Trennung gewinnt, und dass man nur relativ geringe Summen für die Plutonium-Gewinnung aus Reaktoren investiert hat. Hier einige Zahlen: Man hat im Kriege etwa eine Milliarde Dollar für Isotopen-Trennung aufgewendet und zunächst nur 13 Millionen Dollar für einen Versuchs-Reaktor für die Plutonium-Erzeugung und später 350 Millionen Dollar für die große Anlage für Plutonium-Erzeugung in Hanford, immerhin nur ein Drittel der Summe für Isotopen-Trennung. Jetzt, im Erweiterungs-Programm 1953, hat die amerikanische Atomenergie-Kommission 2,1 Milliarden Dollar für die Isotopen-Trennung ausgegeben und nur 600 Millionen Dollar für die Plutonium-Gewinnung (folgt Bild von den Anlagen in Oak Ridge*).

Inzwischen hat man aber gelernt, dass man das hier gestellte Problem noch sehr viel besser lösen kann. Vorhin wurde erwähnt, dass im gewöhnlichen Uran-Brenner für 100 g verbrannten Urans 235 etwa 80 g Plutonium erzeugt werden. Wenn man nun den kernphysikalischen Prozess so leiten könnte, dass für 100 g Uran 235 auch 100 g Plutonium erzeugt würden – eventuell sogar noch mehr –, dann wäre im Endeffekt nur der schwache Kernbrennstoff verbrannt worden und der starke Kernbrennstoff in seiner Menge erhalten geblieben. Dieses Problem nennt man in Amerika das «Brutproblem», d. h. das Problem, mit einem Kern-Reaktor wieder soviel starken Kernbrennstoff auszubrüten, dass die gesamte Menge unverändert bleibt. In dem Moment, in dem das gelingt, ist natürlich die Atomkernenergie sehr viel billiger zu haben, denn der schwache Kernbrennstoff ist in viel größeren Mengen vorhanden und daher sehr viel billiger als starker Kernbrennstoff. Dann kann man den ganzen schwachen Kernbrennstoff zur Energieerzeugung verwenden, und so bekommt die wirtschaftliche Seite des Atomenergieproblems ein völlig neues Aussehen.

Dieses «Brutproblem» ist gerade in den letzten Monaten gelöst worden. Der Weg dazu war der Bau eines Reaktors, der mit schnellen Neutronen arbeitet.

Bild: Ein Probe- bzw. Versuchs-Reaktor, der im Argonne-Laboratorium bei Chicago steht. Im Zentrum des eigentlichen Reaktors ein kugelförmiges

Gebilde von der Größe eines Fußballs, bestehend aus Plutonium oder Uran 235 – jedenfalls aus starkem Kernbrennstoff. Diese Substanz wird umflossen von einer Kühlflüssigkeit, in der sich Uran-238-Stücke befinden, die die Neutronen wegfangen sollen.

Nun zunächst eine kurze Rechnung, mit der abgeschätzt werden soll, ob dieses Brutproblem überhaupt zu lösen ist. Vorhin wurde erwähnt, dass bei jeder Spaltung eines Uran-235-Atoms im Mittel 2,5 Neutronen freierwerden. Von den 2,5 Neutronen wird eines gebraucht, um die Reaktionskette fortzusetzen. Wenn man die übrigen 1,5 Neutronen im Uran 238 einfangen lassen könnte, hätte man für jedes «verbrannte» Uran-235-Atom 1,5 neue starke Kernbrennstoff-Atome wiedergewonnen. – So günstig ist die Bilanz aber sicherlich nicht, weil zunächst schon in Uran 235 auch Neutronen weggefangen werden. Wenn man dies in Rechnung setzt, kommt heraus, dass im Mittel nur 2,14 Neutronen bei der Spaltung durch thermische Neutronen freierwerden. Man hat also nur 1,14 Neutronen übrig, und das ist schon bedenklich nahe bei 1. In Wirklichkeit werden dauernd Neutronen weggefangen durch Wandmaterial und Kühlflüssigkeit. Mit anderen Worten: Man kann auf diese Weise kaum über 1 kommen, sondern bleibt normalerweise erheblich unter 1.

Man hat deshalb lange Zeit das Brutproblem nicht lösen können, bis es schließlich jetzt gelungen ist dadurch, dass man den Reaktor mit schnellen Neutronen betreibt. Für schnelle Neutronen spielt der Einfangprozess im U 235 eine geringere Rolle und man bekommt eine etwas höhere Neutronenzahl. So ist es schließlich durch eine vorsichtige und geschickte Ausnutzung der Neutronen-Bilanz, indem man sozusagen mit den Neutronen ungeheuer sparsam umgegangen ist, gelungen, einen Brutfaktor größer als 1 zu bekommen. Man hat mehr Plutonium gewonnen als Uran 235 verbrannt.

Gleichzeitig hat man die Verbrennungswärme des schwachen Kernbrennstoffs U 238 zum Betrieb einer Turbine benutzt. Die folgende Tabelle gibt die wichtigsten Daten der Maschine:

Charakteristische Eigenschaften des Versuchs-Reaktors im Argonne-Laboratorium der Universität Chicago für Kraftstoffherzeugung («Brutreaktor») und Energiegewinnung.

Größe des Kraftstoffkerns: ca. Fußballgröße,

Temperatur der Na-K-Legierung (Kühlflüssigkeit) am Ausgang: 350° C,

Dampfdruck in der Turbine: 25 atü,

Generatorleistung: 250 kW,

Neutronenfluss: 10 14 Neutronen/cm³

Leistungsdichte: 0,24 kW/cm³, entspricht etwa: 13 000 kW/to Kraftstoff.

Damit sei der Überblick über die amerikanischen Fortschritte in den letzten Jahren abgeschlossen und nun die Frage gestellt: Welche wirtschaftlichen Schlüsse kann man aus dieser Situation ziehen? Nachdem man weiß, dass der Brutprozess wirklich funktioniert, kann man gar nicht daran zweifeln, dass er über kurz oder lang auch im großtechnischen Versuch gelingen wird. Wie sieht dann die wirtschaftliche Lage der Krafterzeugung aus der Atomenergie voraussichtlich aus? Wir wollen uns im Augenblick nur mit der Energieerzeugung beschäftigen. Natürlich hat der Kernreaktor noch andere wirtschaftliche Seiten, wie z.B. Produktion radioaktiver Stoffe usw. Darauf sei im Augenblick nicht eingegangen. Zunächst: Wie ist die Wirtschaftlichkeit der Energieerzeugung zu beurteilen? Das vorliegende Bild zeigt drei Zahlenreihen, die das Problem, die wirtschaftliche Seite der Energieerzeugung, unter drei verschiedenen Voraussetzungen erläutert. In der ersten Reihe ist vorausgesetzt, dass man nur den starken Kernbrennstoff U 235 energetisch ausnutzen kann, Uran 238 also nicht mitverbrennt. Das wäre ein außerordentlich schlechter Reaktor, und die Lage würde wie folgt aussehen: Man fängt etwa an mit einem Stück Uran von 20 Pfund Gewicht. Davon verbleiben nach Abzug des Abfalles etwa 70 g Uran 235. Die werden im Reaktor verbrannt. Sie entsprechen in ihrer Energiemenge einem Wert von etwa 91 Tonnen Kohle. Nach der Umwandlung in Elektrizität würde dies als Beitrag des Brennstoffs zum Preis der Kilowattstunde 0,7 Cent ergeben. Das ist natürlich

viel zu hoch, um mit der Kohleenergieerzeugung konkurrieren zu können, denn zu den reinen Brennstoffkosten kommen noch höhere andere Kosten. So ergäbe sich keine rentable Ausnutzung der Atomenergie. – Die zweite Voraussetzung: Es wird nun angenommen, dass man beim Verbrennen von Uran 235 etwa 80 Prozent Plutonium wiedergewinnt und das auch verbrennt usw. Dadurch reicht man natürlich mit dem Uran etwa vier- bis fünfmal so weit. Hier wird angenommen, dass etwa ein Prozent des ganzen Uranvorrats verbrennen kann. Dann entspricht dieses 20 Pfund schwere Stück Uran einer Wärmemenge von etwa 260 Tonnen Kohle, und der Preis der Kilowattstunde, der auf den Brennstoff entfällt, ist zusammengeschrumpft auf weniger als einen Pfennig pro Kilowattstunde. – Schließlich aber die entscheidende dritte Voraussetzung: Wenn man annimmt, dass der Brutprozess funktioniert, dann entsprechen die 20 Pfund Uran etwa 26 000 Tonnen Kohle. Für diese 26 000 Tonnen Kohle kann man nunmehr die Energie so billig liefern, dass der reine Brennstoffverbrauch, selbst wenn man gewisse Kosten für die chemischen Prozesse zulässt, nur 0,06 Pfennig pro Kilowattstunde beträgt. Das ist ein so geringer Betrag, dass er nunmehr gegenüber den anderen Kosten gar nicht ins Gewicht fällt, dass also bei diesem letzteren Prozess die Energieerzeugung aus der Atomenergie vielleicht mit anderen Arten der Energiegewinnung konkurrieren kann.

Nun will ich für diese letztere Möglichkeit noch eine genauere Tabelle zeigen, die in einer amerikanischen Zeitschrift veröffentlicht worden ist und angibt, wie man etwa die Kosten eines großen Kraftwerks auf dieser Basis berechnen soll, und wie teuer dann der Brennstoff bei diesem Kraftwerk wird. Ich kann nicht beurteilen, ob diese Schätzung hinreichend vorsichtig ist und gebe sie einfach wieder (s. Tabelle folgende Seite).

Schließlich ergibt sich also an Totalkosten pro Kilowattstunde beim gewöhnlichen Kohlekraftwerk 7,4 Tausendstel Dollar und beim Urankraftwerk 7,9 Tausendstel Dollar. Sie sehen, bei dieser Abschätzung ist das Urankraftwerk, also das Kraftwerk auf Atombasis, noch ein wenig teurer als das gewöhnliche Kraftwerk auf Kohlebasis. Aber doch nur so wenig, dass man sich gut denken kann: Wenn die technische Entwicklung noch etwas weiter fortgeschritten ist, kann sich das Verhältnis zu Ungunsten des Kohlekraftwerks und zugunsten des Atom-Reaktorwerkes verschieben. Aber unabhängig von der Richtigkeit solcher Zahlen kann man zweifellos annehmen, dass schon in den nächsten Jahren in Amerika Kraftwerke auf Atombasis entstehen werden, und es sind in der amerikanischen Zeitschrift «Nucleonics» auch schon verschiedene Projekte entwickelt worden, wobei von Kraftwerken bis zu einer Größenordnung von etwa 350 000 Kilowatt Leistung gesprochen wird. Die Erzeugung von elektrischer Energie aus Atomkraft ist also keineswegs mehr ein Traum, sondern reale technische Möglichkeit.

Was folgt daraus für die Situation in Deutschland? Selbst wenn der Generalvertrag in Kraft ist, sind auch der friedlichen Anwendung der Atomenergie in Deutschland relativ enge Grenzen gesetzt. Zum Beispiel dürfen nicht mehr als neun Tonnen Uranmetall pro Jahr aus den Bergwerken herausgeholt werden. Wenn man annimmt, man könnte diese neun Tonnen Uran vollständig verbrauchen, so wie es in der letzten Tabelle angegeben war, nämlich in einem Brutreaktor, bei dem das ganze Uran, auch der schwache Brennstoff, der die Hauptmasse ausmacht, verbrannt wird, so würden diese neun Tonnen Uran doch etwa 24 Millionen Tonnen Kohle entsprechen; d. h. die Energie, die in diesen neun Tonnen Uran steckt, ist der Menge gleich, die aus 24 Millionen Tonnen Kohle gewonnen werden kann. Deutschland würde sozusagen eine Energie von 24 Millionen Tonnen Kohle im Jahr dazugewinnen, und das ist ein Betrag, der sicher nicht zu vernachlässigen ist. In Wirklichkeit sind die Verhältnisse allerdings erheblich ungünstiger und bis zur Erreichung des oben genannten Zieles wäre ein weiter Weg zurückzulegen. Zunächst der Uran-Bergbau: In der Bundesrepublik gibt es nur im Schwarzwald Uranvorkommen und ein etwa ebenso armes Uranvorkommen im Fichtelgebirge. Es ist sehr wahrscheinlich, dass im Schwarzwald Uranmengen von dieser Größenordnung – zehn bis 50, vielleicht bis 100 Tonnen – schließlich zu finden sind. Aber dieses Uran ist nur sehr verdünnt im Gestein vorhanden. Es wird

Kostenvergleich
zwischen einem üblichen Kraftwerk und einer Kernreaktorstation

	Lebensdauer in Jahren	Feste Unkosten in %	Übliche Kraftwerk			Kernreaktor-Station		
			Kapitalinvest. (\$/kW)	Jährl. Kosten (\$/kW pro Jahr)	Stromkosten (\$/1000 pro kWh)	Kapitalinvest. (\$/kW)	Jährl. Kosten (\$/kW pro Jahr)	Stromkosten (\$/1000 pro kWh)
Investitionen:								
Reaktor mit Hilfsausrüstung	20	13,5*				50,00	6,75	0,96
Flüssig-Metall-Kühlanlage	20	13,5				60,00	8,10	1,16
Übliche Kesselanlage	20	13,5	100,00	13,50	1,93	51,00	6,90	0,98
Stromerzeugungsanlage	20	13,5	90,00	12,10	1,73	90,00	12,10	1,73
Zusatzanlage bei								
Kohlenfeuerung	20	13,5	10,50	1,40	0,20			
Grund und Boden einschl.								
Geländeverbesserungen	20	13,5	10,50	1,40	0,20	10,50	1,40	0,20
Brennstoffeinlage								
für den Reaktor			10,5			120,00	12,60	1,80
Gesamt-								
Investierungskosten			211,00	28,40	4,06	381,50	47,85	6,83
Betriebskosten:								
Brennstoff								
(Kohle zu \$ 7,18 pro t)				20,20	2,88			
Reaktor Brennstoff-								
verarbeitung**							2,50	0,36
Betriebs- und Erhaltungskosten								
des Reaktors							1,65	0,24
Betriebs- und Erhaltungskosten								
des elektrischen Kraftwerkes				3,30	0,47		3,30	0,47
Gesamt-Betriebskosten				23,50	3,35		7,45	1,07
Gesamt-Stromkosten							7,41	7,90

*) Einschl. 3 % Abschreibung (unter Zugrundelegung eines Satzes von 5 %), 6 % Gewinn und 4,5 % für Steuern und Versicherung.

**) Schließt Brennstoff"erholung" und Abfallverwendung ein.

also große Kosten verursachen, Uranmetall herauszuholen. Immerhin wird jetzt schon an diesem Problem - natürlich mit Genehmigung der Besatzungsmächte - gearbeitet, und es besteht begründete Hoffnung, dass man in einiger Zeit Uran gewinnen kann, wenn auch mit verhältnismäßig hohen Kosten. Zweitens braucht man, um diese friedliche Ausnutzung der Atomenergie in die Wege zu leiten, neben dem Uran entweder ganz reinen Graphit oder schweres Wasser. In Deutschland verfügen wir einstweilen nicht über schweres Wasser. Selbst wenn man sich bei uns entschliesse, Fabriken zur Produktion von schwerem Wasser zu bauen, würde es doch noch Jahre dauern, bis man eine nennenswerte Menge schweren Wassers bekommt. Man wird also darauf angewiesen sein, die ersten Kernreaktoren mit Graphit als Moderator zu bauen. Wir haben in Deutschland zum Teil sehr guten Graphit. Der Graphit, der in Deutschland während des Krieges produziert wurde, war nicht rein genug für die Kernreaktoren; er ließ sich damals nicht verwenden. Es besteht aber begründete Hoffnung, dass man jetzt in Deutschland Graphit herstellen kann, der für den Reaktorbau geeignet ist. Dann gehört zur eigentlichen Technologie des Reaktors noch die Lösung von allen möglichen metallurgischen Problemen. Es gibt sehr gute metallurgische Fabriken in Deutschland, von denen man hoffen kann, dass sie solche Probleme lösen können.

Wie müsste der erste Schritt in die Atomtechnik in Deutschland aussehen? Es wird sicherlich nicht möglich sein, sozusagen die ganzen zehn Jahre der Entwicklung zu überspringen und nun Maschinen zu bauen, die ebenso modern sind wie die der Amerikaner; davon kann keine Rede sein. man wird wohl als nächstes eine halb technische, halb wissenschaftliche Station bauen

müssen; eine Versuchsstation, in der man den ersten zugelassenen Reaktor von 1500 Kilowatt betreibt und an ihm Erfahrungen sammelt. Diesen Reaktor kann man vielleicht für folgende Zwecke verwenden: erstens, wie schon gesagt, um Erfahrungen zu sammeln. Zweitens, um junge Leute auszubilden, die später die Entwicklung weitertreiben können. Seit dem Kriege ist eine Ausbildung von Physikern auf dem Gebiet der Atomtechnik überhaupt nicht zugelassen und nicht möglich gewesen. Also auch da muss wieder von vorn angefangen werden. Dann wird man einen solchen Reaktor vielleicht dazu verwenden können, radioaktive Substanzen zu produzieren. Man wird wahrscheinlich mit dem Reaktor einen erheblichen Teil des deutschen Bedarfs decken können, der jetzt in Höhe von einigen hunderttausend Mark im Jahre liegt. Vielleicht könnte man einen solchen Reaktor auch verwenden, um eine Maschine zu betreiben; wieder im Sinne eines halbtechnischen Versuchs, aus dem man für die Zukunft lernen kann. Es sind schon Pläne erörtert worden, wie eine solche halbtechnische Versuchsstation aussehen kann. Sie wird zweckmäßig mit einem wissenschaftlichen Institut verbunden werden, so dass zunächst die Technik noch ganz unter der Leitung der Wissenschaft entwickelt wird, weil ja alle eigentlichen technischen Erfahrungen in Deutschland bisher fehlen. Und erst, wenn man mit einer solchen Reaktorstation die technischen Grundlagen gelegt hat und einen Stab von ausgebildeten Leuten besitzt, kann man darangehen, die Lösung des Brutproblems zu versuchen und wirklich technische Einrichtungen zu schaffen.

Auf einen Zug dieser jüngsten Entwicklung will ich besonders hinweisen: Die Lösung des Brutproblems – das ist der amerikanische Name, darum möchte ich ihn hier auch benutzen – ist deswegen für Deutschland besonders wichtig, weil sie zum ersten Male eine gewisse Trennung der friedlichen von der kriegerischen Atomtechnik ermöglicht. Bisher war die friedliche Atomtechnik sehr eng mit der Erzeugung und dem Verbrauch von starkem Kernbrennstoff verbunden, der gleichzeitig als Sprengstoff für Bomben dienen kann. Es ist zwar in einer Weise auch tröstlich, zu wissen, dass die starken Kernbrennstoffe, die ja in der Welt auf beiden Seiten in großer Menge hergestellt werden, durchaus auch nützlichen Zwecken zugeführt werden können. Aber es war in anderer Weise eine große Erschwerung, weil jedes Land, das nun in weiterem Maße Atomenergie verwenden wollte, nicht darum herumkam, auch größere Mengen des Sprengstoffs zu erzeugen. Durch die Lösung des Brutproblems ist das nun anders geworden, indem man die Prozesse so führen kann, dass man die Menge des starken Kernbrennstoffs konstant hält und nur große Mengen des schwachen Kernbrennstoffs verbrennt. Natürlich ist es auch da noch nicht vollständig möglich, die kriegerische von der friedlichen Atomtechnik abzulösen; aber die beiden Arten der Technik werden nun doch grundsätzlich mehr als bisher voneinander getrennt, und es scheint für die Zukunft durchaus möglich, dass ein Land in großem Maße seine Uranquellen erschließt und dabei nur kleine Mengen des starken Kernbrennstoffs erzeugt, die für eine eventuelle Bombenproduktion keine Rolle spielen. Das ist vielleicht das Erfreulichste in der technischen Entwicklung der letzten Monate.

Es war eben davon die Rede, dass wir in Deutschland wohl zunächst eine Reaktorstation bauen sollten, und ich möchte an einem Bild erläutern, wie eine solche Reaktorstation etwa aussehen könnte. Dabei wird die deutsche Station natürlich ein stark verkleinertes Abbild dieser hier skizzierten kanadischen Reaktorstation sein. (Folgt Bild mit Erläuterungen*.)

Vielleicht darf ich zum Schluss mit wenigen Worten noch auf eine ganz andere Seite der Technik eingehen, die in den Zeitungen häufig mit der eigentlichen Atomtechnik verwechselt wird, die aber in Wirklichkeit ganz anderen Zwecken dient. Wenn man Atomforschung betreibt, braucht man dafür komplizierte Apparate, die zum Teil ungeheuer kostspielig sind. Diese haben aber mit der technischen Ausnutzung der Atomenergie unmittelbar nichts zu tun. Es handelt sich um reine Forschungsinstrumente, die der Grundlagenforschung dienen, aber nicht für praktische Zwecke nutzbar gemacht werden können. Zwei Bilder sollen Ihnen die Dimensionen solcher Maschinen vor Augen führen.

(Folgt Bild* eines riesigen Zyklotrons, in dem Protonen soweit beschleunigt werden, dass Energien in der Größenordnung von 400 Millionen Elektronen-Volt entstehen. Eine andere, noch größere Anlage in Brookhaven, die vor kurzem fertiggestellt ist, liefert Protonen von einer Energie von etwa 2,3 Milliarden Elektronen-Volt.) (Folgt weiteres Bild*.)

Ich wollte diese Bilder nur zeigen, um Ihnen die Größe solcher Anlagen zu demonstrieren und darauf hinzuweisen, wie kostspielig diese reinen Forschungsapparate sind; Sie erkennen daraus, dass es für ein einzelnes Land in Europa wirtschaftlich fast unmöglich wäre, solche Apparate allein herstellen zu wollen. Darum haben sich die europäischen Länder auf diesem Gebiet zusammengeschlossen und haben vereinbart, solche Apparate gemeinsam zu bauen. Ich habe Ihnen die beiden Bilder gezeigt, weil zwei Apparate eben dieser Art in Genf auf Grund eines internationalen europäischen Abkommens gebaut werden sollen. Der eine Apparat in Genf wird fast genauso aussehen wie der auf dem ersten Bild*. Der zweite Apparat wird noch etwa zehnmals größer sein als der ringförmige Apparat in Brookhaven, den Sie zuletzt gesehen haben. Auf diesem Gebiet der reinen Atomforschung haben sich also mehrere europäische Staaten zusammengeschlossen mit der Absicht, gemeinsam das zu tun, wozu jeder einzelne wirtschaftlich einfach nicht in der Lage wäre. Dagegen auf dem Gebiet der wirtschaftlich wichtigen Atomtechnik wird es und soll es wirtschaftlich Konkurrenz geben. Da muss jedes Land für sich sehen, wie es mit seinen Rohstoffvorräten wirtschaften kann.

Ich möchte noch einmal betonen, dass das Erfreulichste an der Entwicklung der letzten Jahre der Umstand gewesen ist, dass man jetzt bis zu einem gewissen Grad die friedliche Atomtechnik von der kriegerischen trennen kann und dass wir uns also auch in Deutschland vielleicht später in größerem Ausmaß mit der friedlichen Atomtechnik befassen können, ohne dadurch in Berührung mit der kriegerischen Atomtechnik zu kommen. ■