

HITLERS ATOMBOMBE STÖRFALL DER WISSEN- SCHAFTSGESCHICHTE

Warum wurden im NS-Staat keine Nuklearwaffen entwickelt, obwohl Deutschland bis mindestens 1933 in der Kernphysik führend war? In den Geschichtsbüchern steht: Das Wissen war vorhanden, allein die Mittel fehlten. Doch die Originaldokumente legen einen anderen Schluss nahe.



Manfred Popp ist Kernphysiker und ein erfahrener Wissenschaftsmanager. Von 1976 bis 1987 leitete er die Unterabteilung Energieforschung des Bonner Forschungsministeriums und war von 1991 bis 2006 Vorstandsvorsitzender des Forschungszentrums Karlsruhe.

» spektrum.de/artikel/1427403

► Dass Adolf Hitler bei all dem Tod und Verderben, das er über Millionen von Menschen gebracht hat, nicht auch noch über Atomwaffen verfügen konnte, ist ein Lichtblick im dunkelsten Kapitel der deutschen Geschichte – und ein Rätsel, das Historiker und Physiker seit mehr als 70 Jahren immer wieder zu lösen versucht haben.

Über Jahrzehnte befassten sich fast ausschließlich amerikanische und britische Historiker mit der Geschichte des »Uranvereins« – so wurde die Gruppe aus weniger als 100 Wissenschaftlern um den Physiker Werner Heisenberg

informell genannt. Die deutschen Geschichtsforscher mussten nach dem Krieg weitaus schlimmere Ereignisse aufarbeiten. Den Historikern der Alliierten stellte sich indes ebenfalls heikle Frage. Ihre Wissenschaftler hatten hoch motiviert an der Entwicklung der Atombombe gearbeitet, weil sie ihren deutschen Kollegen zuvorkommen wollten. Doch tatsächlich gab es das postulierte Wettrennen nie. Warum aber hatten ihre Physiker in einer Demokratie, die ihnen die Freiheit ließ, Nein zu sagen, die Bombe gebaut, während die deutschen – oft ihre ehemaligen Lehrer, Schüler oder Kommilitonen – selbst unter der unmenschlichsten Diktatur nur an der Entwicklung eines Kernreaktors arbeiteten?

Seit mehr als einem Vierteljahrhundert steht dazu in den Geschichtsbüchern, die deutschen Wissenschaftler hätten gewusst, wie eine Atombombe konstruiert werden muss. Wie der gigantische Aufwand des »Manhattan-Projekts« der USA aber zeige, habe deren Entwicklung die Möglichkeiten des »Dritten Reichs« überfordert, insbesondere unter Kriegsbedingungen. Damit folgt die Geschichtsschreibung dem Urteil des US-Historikers Mark Walker, dessen Werke als beste Darstellung der Arbeit des Uranvereins gelten. Seine Nachricht war für die Alliierten tröstlich: Das Wettrennen schien lediglich aus ökonomischen Gründen ausgefallen zu sein.

Walker und seine Historikerkollegen hielten für den Bau einer Atombombe zwei Kenntnisse für entscheidend: einerseits das Wissen über das richtige Grundprinzip der Bombe, nämlich die Spaltung der Atomkerne von Uran-235 oder Plutonium-239 durch schnelle Neutronen. Andererseits war die Schlüsselfrage für sie die Berechnung der »kritischen

AUF EINEN BLICK DAS PHANTOM DER BOMBE

- 1** Im Zweiten Weltkrieg begannen die USA ein aufwändiges Atomwaffenprojekt, weil sie sich in einem Wettrennen mit Nazideutschland wähten. Tatsächlich arbeitete hier zu Lande jedoch niemand an einer nuklearen Bombe.
- 2** Heute herrscht die Ansicht vor, die deutschen Physiker hätten das technische Prinzip der Atombombe gekannt, aber die aufwändige Konstruktion hätte das »Dritte Reich« im laufenden Krieg überfordert.
- 3** Analysen der Originalquellen zeigen: Historiker haben physikalische Zusammenhänge missachtet. Bis zum Kriegsende waren den deutschen Forschern wesentliche Grundlagen gar nicht klar.

~~OFFICIAL USE ONLY~~ **DECLASSIFIED**

8a
G-3
Copy

Reid, memo, 5/25/48 (and copy 4) ginn, II

~~Geheim~~

Nutzbarmachung von Atomkernenergien

~~Geheime Forschungsberichte~~

~~OFFICIAL USE ONLY~~

DO NOT PHOTOCOPY

Heft 4

Oktober 1942

Anlage zu Bb. Nr. 6 / 43 g. Wa

DEUTSCHES MUSEUM

In »geheimen Forschungsberichten« informierten die Physiker um Werner Heisenberg und Otto Hahn ab 1939 das Heereswaffenamt, nach 1942 den Reichsforschungsrat, über den Stand ihrer Arbeit.

Masse«, jener Mindestmenge an Spaltstoff, in der eine Kettenreaktion ablaufen kann. Wie unzureichend dieser Ansatz ist, illustriert ein Vergleich aus der Leichtathletik: Beim Hochsprung ist es zweifellos wichtig, die Höhe zu kennen, auf der die Latte liegt – analog zum Wert der kritischen Masse. Aber ob man darüberspringen kann, ist eine andere Frage.

Der Autor Bruce C. Reed (»The Physics of the Manhattan Project«, 2015) hat die Berechnung der kritischen Masse als eine der einfachsten Aufgaben bei der Entwicklung einer Atombombe bezeichnet. Eine kritische Masse ist noch lange keine Bombe. Wenn sie unkontrolliert zusammengebracht wird – das ist seit Kriegsende oft in verschiedenen Laboren aus Versehen passiert –, dann zerlegt sie sich durch die dabei entstehende Wärme sofort von selbst, meist ohne große Schäden anzurichten. Die Strahlung kann jedoch in der Nähe tödlich sein.

Die heute verbreiteten Kenntnisse des richtigen Bombenprinzips und der kritischen Masse reichen glücklicherweise nicht aus, um eine Atombombe herzustellen. Denn es ist zum einen höchst aufwändig, das spaltbare Material zu gewinnen, und zum anderen anspruchsvoll, in einer Bombe einen nennenswerten Teil davon zu spalten. (Im Kasten »Die Physik der Atombombe« wird das kurz erläutert. Obwohl das deutsche Kerntechnikprogramm, das ich elf Jahre geleitet habe, ziviler Natur war, musste ich mich wegen der Möglichkeiten des Missbrauchs von Materialien und Tech-

nologien für den Bau von Atomwaffen intensiv mit der Physik der Bombe befassen.) Um im Bild zu bleiben: Die Latte Walkers und anderer Historiker für die Fähigkeit, eine Bombe zu bauen, liegt zu niedrig.

Zwei Fächer mit unterschiedlicher Denkweise

Wer Wissenschaftsgeschichte der Physik betreibt, muss die angeblich so unvereinbaren Kulturen der Geistes- und der Naturwissenschaften verbinden und sollte die Denkweise der beiden Forschungsbereiche verinnerlichen. Während historische Quellen selten widerspruchsfrei sind, machen selbst kleinste Diskrepanzen eine physikalische Theorie wertlos. Die Interpretationsspielräume sind in beiden Fächern höchst unterschiedlich. Aber die naturwissenschaftlichen Aspekte müssen möglichst früh berücksichtigt werden, denn die Integration der Ergebnisse in die Geschichtsschreibung ist ohnehin Sache der Historiker. In seiner Arbeit über die Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Institute für Physik und Chemie aus dem Jahr 2005 erwähnt Walker jedoch in einem Überblick über die wichtigen Veröffentlichungen zum Uranverein keine, die von Physikern verfasst wurde. Bei der Beschreibung der Geschichte von »Hitlers Bombe« sind physikalische Gesetzmäßigkeiten und Erläuterungen oft unter den Tisch gefallen. So oft, dass ein Zerrbild entstanden ist, das dringend der Korrektur bedarf. Dabei war die zu geringe Anforderung für die Kenntnisse über den Bombenbau nur einer von mehreren Fehlern.

Die Physik der Atombombe

Das Prinzip von Atombomben beruht auf der enormen Energie, die frei wird, wenn ein schwerer Atomkern in mehrere leichtere zerfällt. Beschießt man ihn mit Neutronen, kann man diesen Prozess gezielt auslösen. Für die technische Nutzung der Kernspaltung kam zunächst nur Uran-235 in Betracht (der Name bedeutet, dass dieses »Isotop« des Elements Uran 235 Kernbausteine enthält, 92 Protonen und 143 Neutronen). Es kommt nur zu 0,7 Prozent in Natururan vor, das vor allem aus dem Uran-238 (mit drei Neutronen mehr) besteht. Für Kernwaffen muss Uran-235 durch physikalische Verfahren auf einen Anteil von typischerweise 93 Prozent »angereichert« werden.

Bei der Spaltung von Uran-235 werden im Mittel 2,5 schnelle Neutronen frei, von denen jedes wieder andere Kerne spalten kann. Dadurch

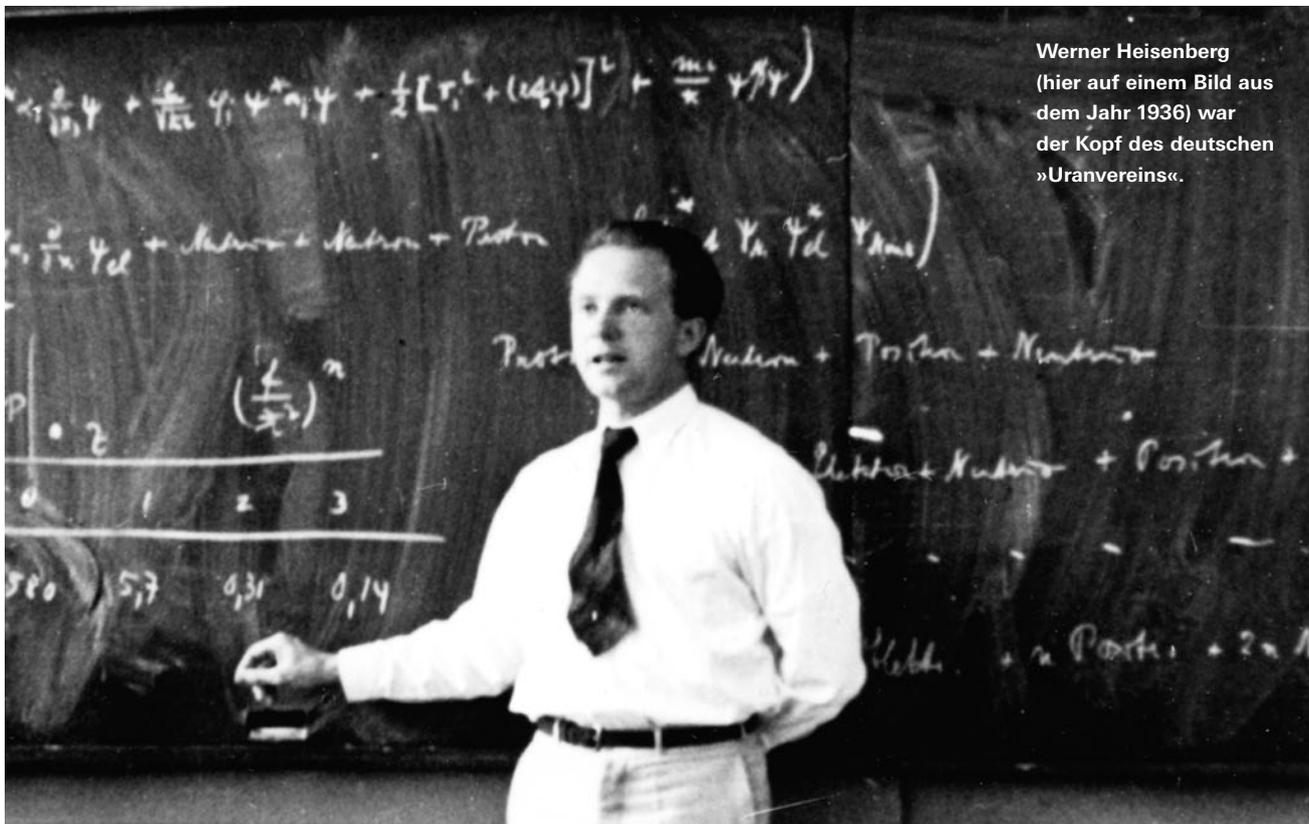
kann es zu einer Kettenreaktion kommen, wenn das Volumen des spaltbaren Materials so groß ist, dass nicht zu viele der Neutronen nach außen verloren gehen; diese Mindestmenge ist die »kritische Masse«.

Die Spaltung von Uran-235 ist umso effektiver, je langsamer die Neutronen sind; in Atomreaktoren bremst sie ein »Moderator« (meist Wasser) auf Umgebungstemperatur ab. Man spricht deshalb von thermischen Neutronen. Ein Konkurrenzprozess ist der Einfang von Neutronen durch Uran-238. Dabei entsteht ein neues Element, Plutonium, das leichter spaltbar ist als Uran-235, also eine geringere kritische Masse erfordert. Als Nebenprodukt der Prozesse im Reaktor ist es sehr viel preiswerter herzustellen.

Eine Atombombe funktioniert fundamental anders als ein Reaktor.

Insbesondere darf sie keinen Moderator enthalten. Das entscheidende physikalische Problem ist, im etwa gleichen Volumen einer konventionellen Bombe eine millionenfach höhere Energie aufzubauen. Nur dann ist die Explosion auch entsprechend stärker. Dazu muss das Material viele Millionen Grad Celsius heiß werden. Aber oberhalb von rund 3000 Grad Celsius wird die ganze Bombe gasförmig und beginnt sich auszudehnen; mit abnehmender Dichte reißt die Kettenreaktion sofort ab. Der Prozess der Aufheizung muss also abgeschlossen sein, bevor sich die Atome nennenswert in Bewegung setzen. Mit thermischen Neutronen wie in einem Reaktor kann das nicht gelingen, weil sie ja nicht schneller sind als ihre Umgebung.

Die Neutronen aus dem Zerfall des Uran-235 müssen in einer Bombe



Werner Heisenberg
(hier auf einem Bild aus
dem Jahr 1936) war
der Kopf des deutschen
»Uranvereins«.

daher direkt und ohne Abbremsung weitere Kerne spalten. Allerdings ist dann der »Wirkungsquerschnitt«, ein Maß für die Wahrscheinlichkeit dieses Prozesses, etwa 500-mal kleiner. Deswegen läuft der Vorgang immer noch nicht rasch genug ab, um den gesamten verfügbaren Brennstoff zu spalten. Denn die Freisetzung der Energie durch die Kettenreaktion braucht ihre Zeit.

Ein Kilogramm Uran-235 enthält 10^{24} Kerne. Wenn jeweils zwei Neutronen neue Spaltungen auslösen, dann bedarf es zu dessen vollständiger Umwandlung 80 Neutronengenerationen ($10^{24} = 2^{80}$). Ein schnelles Neutron legt im Durchschnitt bis zur nächsten Spaltung 17 Zentimeter zurück. Für diese »freie Weglänge« benötigt es zehn Nanosekunden. Nach 80 Generationen ist also fast eine Mikrosekunde vergangen. In dieser Zeitspanne erfolgt aber bereits die thermische Ausdehnung. Die

Bombe explodiert schon, wenn erst ein kleiner Teil des Materials gespalten wurde – die über Hiroshima abgeworfene bereits nach der Spaltung von nur einem Prozent der enthaltenen 64 Kilogramm Uran-235.

Und selbst diese geringe Effizienz ist nur zu erzielen, wenn ein Neutron die Bombe genau in dem Moment zündet, bei dem die größtmögliche kritische Masse zusammengebracht wurde. In der Hiroshima-Bombe hat eine Kanone zwei unterkritische Massen mit einer Geschwindigkeit von 300 Metern pro Sekunde zusammengeschossen. Dabei vergingen 0,2 Millisekunden zwischen dem Erreichen der so genannten »ersten Kritikalität«, bei der bereits eine Kettenreaktion ablaufen kann, und dem Maximum der Kritikalität, bei dem die Bombe am effizientesten zündet. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Bombe während dieser Zeitspanne durch zufällig eintreffende Neu-

tronen aus der Umgebung oder aus dem Zerfall des Urans zu früh gezündet wurde und mit wenig Wirkung verpuffte, lag bei 1,7 Prozent.

Bei einer ebenso gebauten Plutoniumbombe jedoch läge dieser Wert nahe 100 Prozent, weil im Reaktor neben dem gewünschten Brennstoff Plutonium-239 immer auch ein weiteres Isotop dieses Elements entsteht, Plutonium-240. Wegen seiner relativ hohen Wahrscheinlichkeit für Spontanspaltung emittiert es Neutronen. Deshalb muss die Kritikalität sehr viel schneller erreicht werden; dies gelingt durch Implosion einer Hohlkugel aus Plutonium, welche die Dichte des Spaltstoffs auf das Drei- bis Fünffache steigert. Die Frage, wie groß der Anteil von Plutonium-240 in einer effizienten Bombe sein darf, ist wichtig, um die Gefahr einer missbräuchlichen Verwendung von Plutonium aus zivilen Reaktoren zu beurteilen.

War wenigstens dieser Mindestanspruch für den möglichen Bau einer Bombe im »Dritten Reich« erfüllt? Um die kritische Masse zu bestimmen, muss man die relevanten »Wirkungsquerschnitte« kennen. Sie beschreiben die Wahrscheinlichkeit, dass ein Neutron einen Atomkern spaltet oder daran gestreut wird. Darüber hinaus braucht man natürlich eine Theorie der Bombe, um eine Berechnung durchführen zu können. Heute kann man die kritische Masse mit Computern numerisch sehr genau ermitteln. Während des Kriegs war das aber noch nicht möglich. Damals waren zahlreiche vereinfachende Annahmen nötig, deren Einfluss anschließend abgeschätzt werden musste. Das führte zu einer großen Ungenauigkeit.

Anfang 1942 wurde die kritische Masse einer Uran-235-Bombe im Manhattan-Projekt deshalb mit der großen Spanne von 2 bis 100 Kilogramm angegeben. Selbst mit den nahezu unbegrenzten Möglichkeiten in den USA lagen Ende 1943 die Ergebnisse bei 60 Kilogramm, immer noch weit

über dem richtigen Wert von 46 Kilogramm. Wegen der rechnerischen Probleme wurde die kritische Masse in den zentralen Laboren in Los Alamos unter Lebensgefahr experimentell bestimmt. In den Dokumenten des Uranvereins finden sich keine Spuren einer versuchten Berechnung der kritischen Masse einer Bombe, die mit schnellen Neutronen arbeitet.

Das erste Buch über den Uranverein hat bereits 1947 der in den Niederlanden geborene Physiker Samuel Goudsmit vorgelegt. Er war wissenschaftlicher Leiter der »Alsos-Mission«, einer Sondereinheit der US Army, die mit der vorersten Front die deutschen Kernforschungseinrichtungen besetzt, die Materialien und Dokumente sichergestellt und die Wissenschaftler festgenommen und befragt hatte. Die von Goudsmit gesammelten »Geheimberichte« des Uranvereins wurden danach viele Jahre unter Verschluss gehalten. Der in die Schweiz emigrierte Publizist Robert Jungk (»Heller als tausend Sonnen«, 1956) und der Brite David Irving (»Der

Während des Zweiten Weltkriegs entstand in einem Felsenkeller im hohenzollerischen Haigerloch ein Versuchsreaktor. Deutsche Physiker wollten hier die nukleare Kettenreaktion erzeugen, was jedoch aus Mangel an Uran und schwerem Wasser misslang. Auf dem Foto demontieren Mitglieder der amerikanischen »Alsos«-Truppe nach Kriegsende die Anlage.



ATOMKELLER-MUSEUM, HAIGERLOCH. MIT FRIEDL. GEN. VON LEGIUNUS FECHTER

Traum von der deutschen Atombombe«, 1967) mussten sich deshalb auf Interviews mit Zeitzeugen stützen.

Der erste Historiker, der die Geheimberichte auswerten konnte, war Mark Walker. Dazu besuchte er auch das Kernforschungszentrum Karlsruhe, dem als Nachfolgeorganisation des Uranvereins die Alsos-Dokumente in den 1970er Jahren von den USA zurückgegeben worden waren. 1990 veröffentlichte Walker seine Doktorarbeit (»Die Uranmaschine – Mythos und Wirklichkeit der deutschen Atombombe«). Sein Resümee war, ebenso in vielen weiteren Veröffentlichungen, die deutschen Physiker hätten »eindeutig das Prinzip zur Herstellung nuklearer Sprengstoffe wie auch die Funktion von Kernwaffen verstanden«. Die Atombombe sei vor allem aus wirtschaftlichen Gründen nicht entwickelt worden.

Sehr unterschiedliche Deutungen aus nahezu den gleichen Quellen

Danach erschienen zwei in ihren Schlussfolgerungen extrem unterschiedliche, jedoch gleichermaßen sorgfältig recherchierte Bücher US-amerikanischer Historiker: Thomas Powers porträtierte Heisenberg als Held des Widerstands (»Heisenbergs Krieg«, 1993); er habe trotz Kenntnis der richtigen Werte die kritische Masse unerreichbar hoch erscheinen lassen. Für Paul L. Rose dagegen war Heisenberg ein unfähiger Nazi, der die Bombe entwickeln wollte, allerdings scheiterte (»Heisenberg und das Atombombenprojekt der Nazis«, 2001).

Als Physiker wundert man sich, dass es möglich war, zwei so unterschiedliche Deutungen aus nahezu den gleichen Quellen herzuleiten. Beide waren nicht unplausibel, haben sich aber gewissermaßen kompensiert. Darum erschien Walkers Analyse wohl als neutraler Mittelweg.

Daneben gibt es Erinnerungen beteiligter Wissenschaftler und kurze Beiträge über den Uranverein von amerikanischen und deutschen Physikern. Erst 2005 erschien ein Buch eines deutschen Historikers: Rainer Karlsch (»Hitlers Bombe«) beschrieb die Arbeit des Uranvereins korrekter als Walker. Doch er behauptete, in der Endphase des Kriegs seien vom Heereswaffenamt Fusionsbomben als kleine taktische Atomwaffen entwickelt und erprobt worden. Die Belege für einen Erfolg solcher Arbeiten hielten Nachprüfungen nicht stand.

Wie fremd den Historikern unter den Autoren die Welt der Physik war, zeigt besonders deutlich, dass Rose und Karlsch davon überzeugt waren und Walker es immerhin für möglich hielt, die deutschen Wissenschaftler hätten die kritische Masse einer Plutoniumbombe berechnet. Sie hatten fast gleichzeitig mit den alliierten Physikern herausgefunden, dass ein neues »Element 94« während des Betriebs eines Reaktors entstehen müsste, und aus Niels Bohrs Theorie geschlossen, es müsse leichter spaltbar sein als Uran-235. Es wurde 1941 in den USA nachgewiesen und Plutonium getauft, aber das erfuhren sie erst 1946. Noch nicht einmal die Reaktorexperimente, an denen sie arbeiteten, hätte Element 94 produzieren können, sondern nur ein Energie liefernder Reaktor – ihr fernes Ziel.

Der US-Physiker Jeremy Bernstein, der viele Veröffentlichungen über das deutsche Uranprojekt geschrieben hat,

wunderte sich, dass sie nicht ebenso wie die amerikanischen Forscher einige Mikrogramm Plutonium in einem »Zyklotron« erzeugt und anschließend untersucht haben. Dabei handelt es sich um einen Kreisbeschleuniger für Teilchen, ein wichtiges Instrument für die Kernphysik, das in den 1930er Jahren in vielen Ländern gebaut worden war. Doch in Deutschland fehlte ein solches Gerät bis Ende 1944. Man hätte aber die beiden in den Hauptstädten der besetzten Länder Dänemark und Frankreich vorhandenen, allerdings sehr kleinen Zyklotrone dafür beschlagnahmen können. Solche Versuche unterblieben jedoch. Die deutschen Wissenschaftler kannten keine Eigenschaften des von ihnen postulierten Elements. Sie konnten beim besten Willen nichts ausgerechnet haben.

Bei der Uranbombe war die Lage ähnlich. Nur die für den Reaktor wichtigen Wirkungsquerschnitte vermochten die deutschen Physiker an Natururan zu bestimmen. Da, wie Niels Bohr herausgefunden hatte, durch Bestrahlung mit langsamen (»thermischen«) Neutronen das Uran-238 nicht spaltbar ist, beobachtete man dabei die Reaktion des seltenen Uran-235. Bei der Bestrahlung mit schnellen Neutronen überdeckte die Reaktion des Uran-238 den kleinen

Die deutschen Physiker kannten die Wirkungsquerschnitte nicht und nutzten auch keine Möglichkeiten, sie zu bestimmen

Beitrag des Uran-235. Dessen für die Bombe wichtigen Wert hätten sie auf diese Weise nur messen können, wenn ihre Arbeit an der Isotopentrennung so weit gediehen gewesen wäre, dass sie Proben mit hoch angereichertem Uran-235 herstellen konnten. Aber das war nicht der Fall.

Doch es hätte auch hier einen anderen Weg gegeben. Josef Mattauch, Nachfolger der 1938 emigrierten Lise Meitner am Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, war ein Spezialist für die Massenspektrometrie von Isotopen. Er hätte einige Mikrogramm reines Uran-235 abtrennen können. Anschließend hätten in einem der Zyklotrone in Kopenhagen oder Paris die Wirkungsquerschnitte bestimmt werden können. Beides unterblieb. Die in den USA gemessenen Werte waren in Deutschland unbekannt, da sie erst nach Kriegsende veröffentlicht wurden.

Walker und die anderen Historiker haben weder registriert, dass die deutschen Physiker die Wirkungsquerschnitte für die Uran- und die Plutoniumbombe nicht kannten, noch, dass sie die Möglichkeit zu ihrer Bestimmung hatten, aber nicht nutzten. Trotzdem haben sie angenommen, sie hätten die kritische Masse irgendwie ausgerechnet.

Wie steht es mit der anderen Grundvoraussetzung für die Konstruktion der Bombe, nämlich der Kenntnis des Prinzips ihrer Wirkungsweise? Antworten darauf liefern die »Geheimberichte«. Die Wissenschaftler des Uranvereins richteten sie an ihren Auftraggeber, bis Anfang 1942 das Heereswaffenamt, danach den Reichsforschungsrat. In Kopien dienten sie

aber auch der Information innerhalb des Uranvereins. Sie wurden auf Schreibmaschinen mit zahlreichen Durchschlägen getippt, Abbildungen und Formeln mussten die Autoren von Hand eintragen. Auffallend ist, dass sich nur ganz wenige Dokumente überhaupt mit der Bombe befassen.

In Heisenbergs erster Ausarbeitung über die Kernenergie vom Dezember 1939 findet sich in der Zusammenfassung nur ein Satz über die Bombe: Die Anreicherung von Uran-235, die es erlaube, sehr kompakte Reaktoren zu bauen, sei auch die einzige Methode, einen Sprengstoff herzustellen, dessen Explosivkraft die herkömmlicher Sprengmaterialien um mehrere Zehnerpotenzen übertreffe. Zuvor hatte er abgeschätzt, dass man für eine solche Reaktor-bombe mindestens etliche Kilogramm, vielleicht sehr viel mehr fast reines Uran-235 herstellen müsse – ein »hor-

Reaktor und Bombe sollten nicht nur nach dem gleichen Prinzip arbeiten, sondern sogar die gleiche Form haben

render« Aufwand, weil man Isotope bisher nur im Maßstab von Mikrogrammen abtrennen konnte. Die Bombe erschien möglich, jedoch unerreichbar. Im ausführlichen Teil seines Berichts schildert er die Explosion. Die dort angegebene Energie der Neutronen (300 Elektronvolt) ist aber um vier Größenordnungen geringer als die der tatsächlich erforderlichen schnellen Neutronen. Goudsmit, Bernstein, Rose und Karlsch haben bemerkt, dass diese Bombe nicht stärker wäre als eine konventionelle. Walker beruft sich dagegen allein auf den Satz in der Zusammenfassung, der so klingt, als ob das Prinzip der Bombe bekannt sei.

Der Ansatz, bei der Bombe wie schon beim Reaktor an thermische Neutronen zu denken, war kernphysikalisch durchaus sinnvoll. Enrico Fermi hatte nämlich 1934 entdeckt: Neutronen lösen meist umso wirksamer Kernreaktionen aus, je geringer ihre Energie ist. Dass man für eine Bombe schnelle Neutronen verwenden muss – trotz ihres unbekanntes, nach theoretischen Erkenntnissen aber sehr kleinen Wirkungsquerschnitts –, ergibt sich erst, wenn man die Thermodynamik der Explosion studiert.

Heisenbergs Doktorand Paul Müller hat die kernphysikalischen Parameter für eine nukleare Explosion genauer berechnet. Als Ergebnis für relativ langsame Neutronen (25 Elektronvolt) ermittelte er eine notwendige Anreicherung des Uran-235 auf knapp 70 Prozent und einen großen Bedarf an einem Moderator. Das erste Ergebnis ist scheinbar richtig, ein solcher Anreicherungsgrad ist für Uranbomben tatsächlich ausreichend. Aber das zweite Resultat entwertet es: Ein Moderator ist Gift für die Bombe. Wieder haben Rose und Karlsch den Fehler bemerkt. Walker hingegen hat Müllers Bericht, den einzigen, der sich ausschließlich mit nuklearen Sprengstoffen befasst, nicht beachtet.

Eine dritte Bestätigung des falschen Grundverständnisses liefert ein Brief an das Reichspatentamt, den Karl Wirtz 1941

verfasst hat. Er war ein wichtiger Mitarbeiter Heisenbergs, der ab 1957 den zuvor im Krieg gescheiterten Bau eines Reaktors im Kernforschungszentrum Karlsruhe umsetzte. Wirtz beschreibt eine wenige Millimeter dünne Platte aus Uran-235 von einem Quadratmeter Größe, die an beiden Seiten von einem Moderator umgeben ist; sie könne entweder eine nahezu unerschöpfliche Wärmequelle darstellen oder mit extremer Gewalt explodieren. Reaktor und Bombe sollten also nicht nur nach dem gleichen Prinzip arbeiten, sondern sogar die gleiche Form haben. Diesen Brief hat Karlsch erst nach 1990 in einem Moskauer Archiv gefunden. Aber Walker berücksichtigte ihn nicht, als auch er für seine Arbeit über die Geschichte der Institute Heisenbergs und Hahns die nach Russland gelangten Dokumente auswertete.

Eine passende Zahlenspanne schien die Kenntnis über die kritische Masse zu belegen

Ein weiterer Fehler hat die Geschichtsschreibung besonders nachhaltig geprägt. Ein ausführlicher Bericht des Heereswaffenamts über die erzielten Ergebnisse wurde 1942 für eine Konferenz erstellt, in der angesichts der verschlechterten Lage an den Kriegsfrenten die weitere Förderung überprüft werden sollte. Dieses Dokument ist außerordentlich wertvoll, da es amtlich und vollständig den Wissensstand des Uranvereins beschreibt. Lange war es verschollen, bis Walker ein Exemplar bei Erich Bagge entdeckt hat, der im Uranverein an der Isotopentrennung gearbeitet hatte. Erneut fand Walker hier einen Satz, der die Kenntnis über die kritische Masse einer Bombe zu belegen schien: Für eine Explosion müsse man 10 bis 100 Kilogramm Uran-235 oder Element 94 an einem Ort vereinigen. Das stimmte in verblüffender Weise mit der Spanne überein, die gleichzeitig in den USA mit 2 bis 100 Kilogramm angegeben wurde.

Die physikalischen Erläuterungen im ausführlichen Berichtsteil enthalten jedoch eindeutige Beweise für die immer noch falschen Vorstellungen vom Funktionsprinzip der Bombe. Schon im Inhaltsverzeichnis erscheint sie wieder bloß als Sonderfall des Reaktors. Später werden als Vorgänge, die Neutronen erzeugen, nur die beiden für den Reaktor wichtigen genannt; die Spaltung von Uran-235 mit schnellen Neutronen wird nicht erwähnt. Die Aussagen zur Bombe beruhen allein auf den Arbeiten von Heisenberg und Müller aus den Jahren 1939 und 1940. Diese klaren Belege für die fehlende Erkenntnis, dass eine Bombe einzig mit schnellen Neutronen funktionieren kann, wurden bisher übersehen.

Da der Bericht so schwer zugänglich war, verließen sich viele andere Autoren auf Walkers Interpretation. Nur Rose und Karlsch haben anhand des Originals den Fehler bemerkt, aber unverständlicherweise angenommen, die Zahlenspanne bezöge sich auf eine anders funktionierende Plutoniumbombe. Mehr als ein Vierteljahrhundert lang galt die Mitteilung des Heereswaffenamts in Walkers Interpretation als Beweis für die ausreichende Kenntnis über die Bombe. Dabei störte es auch nicht, dass die Berechnung als einzige im Bericht nicht belegt wird: »Es ist unwichtig, wer die Abschätzung machte und wie sie gemacht wurde«, so Walker. Für Bernstein dagegen, der den Bericht ebenfalls nur in Walkers Interpretation kannte, blieb die Zahlenangabe »ein Rätsel«.

Es ist verwunderlich, dass Walkers Fehler bis jetzt unentdeckt blieb. Denn wenn man etwas von Kerntechnik versteht, lässt sich die Bedeutung der Spanne von 10 bis 100 Kilogramm leicht erklären. Sie passt gut zu dem, was Heisenberg beschrieben hat, nämlich einem Reaktor aus hoch angereichertem Uran-235 mit einem Moderator. Nach diesem Prinzip wurden bisher weltweit etwa 150 Forschungsreaktoren gebaut. Deren Brennelemente enthalten im Durchschnitt zehn Kilogramm, in Reaktoren mit größerer Leistung auch mehr als 50 Kilogramm hoch angereichertes Uran-235. Wie eine Atombombe können sie freilich nicht explodieren. Die Zahlenspanne könnte Wirtz für seinen Brief an das Patentamt berechnet haben. Wegen der extrem hohen Dichte des Urans beträgt die Masse einer einen Quadratmeter großen Platte bei einer Stärke von 0,5 bis 5 Millimetern tatsächlich 10 bis 100 Kilogramm. Die deutschen Physiker hatten also die kritische Masse eines Reaktors berechnet. Das konnten sie, weil sie dafür eine Theorie entwickelt hatten und die Wirkungsquerschnitte kannten. Und sie glaubten, mit hoch angereichertem Uran würde ein solcher Reaktor zu einer Atombombe.

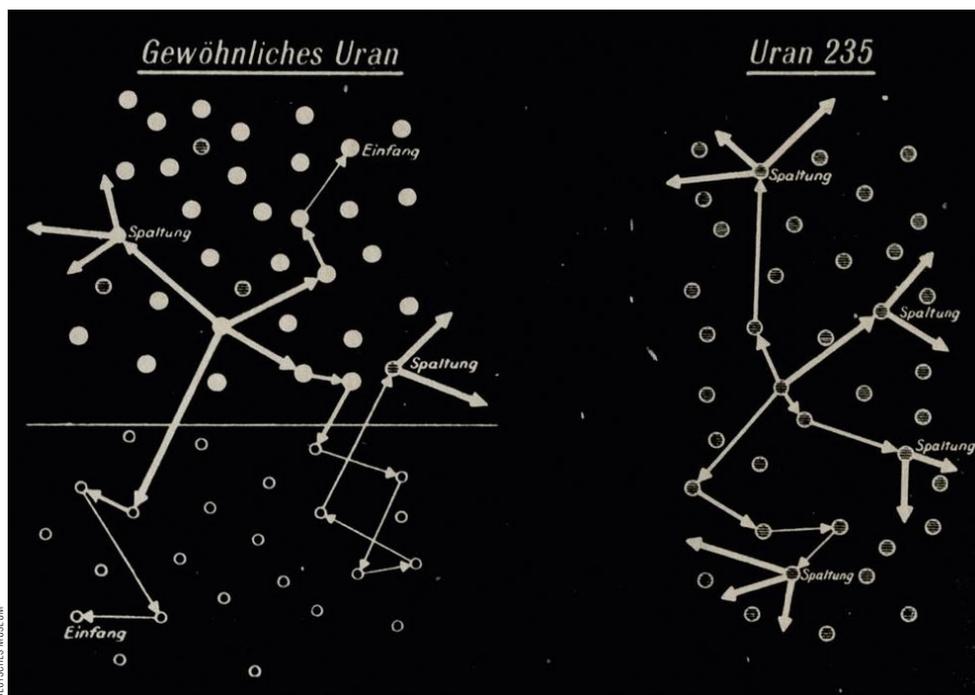
Heisenberg gelangte zu neuen Einsichten – aber behielt sie für sich

Mit dieser Feststellung kann man auch die unbestätigten, sich zäh haltenden Behauptungen aus der Nachkriegszeit erklären, Heisenberg habe während des Kriegs von einer kritischen Masse von 50 Kilogramm gesprochen; in einer Konferenz mit Rüstungsminister Albert Speer soll er die Größe der Bombe mit einer Ananas verglichen haben (das entspräche etwa 25 Kilogramm). Diese Zahlenangaben passen in die Bandbreite, die der Bericht des Heereswaffenamts nennt, allerdings für die technisch unmögliche Reaktor-bombe. Es ist für die Geschichtsschreibung also durch-

aus bedeutsam, herauszufinden, wer die Abschätzung machte und wie sie vorgenommen wurde – sonst läuft man Gefahr, sich von einer zufälligen Koinzidenz der Zahlen blenden zu lassen.

Aber Heisenberg war ein zu guter Physiker, um dauerhaft im Irrtum zu verharren. Auf der Konferenz im Februar 1942 zeigte er in seinem Einführungsvortrag eine schematische Darstellung der Vorgänge bei den Spaltungsreaktionen in Natururan und in reinem Uran-235 (siehe Abbildung unten) – und dort fehlt zum ersten Mal der Moderator. Es scheint also, als sei nun das richtige Prinzip der Bombe gemeint, aber im Text ist von der Spaltung mit schnellen Neutronen nicht die Rede. Nach dem Krieg hat Heisenberg behauptet, schon immer gewusst zu haben, dass die Bombe nur mit schnellen Neutronen möglich ist. Vielleicht hatte er die Grafik bloß gezeigt, um diese Aussage später untermauern zu können. Bis zum Kriegsende hat er diese neue Einsicht jedoch nirgends erwähnt. Seinen Fehler mit der Reaktor-bombe hat er später nie zugegeben. Walker hat die Abbildung als Beweis für das Wissen über das richtige Prinzip der Bombe überbewertet: Heisenberg war nicht am Ziel, sondern endlich am Startpunkt für ein Verständnis der Bombenphysik angekommen, der in den USA schon Anfang 1940 erreicht war. Und er hat keinen weiteren Schritt getan.

Selbst der dritte und letzte Leiter des Uranprojekts, Walter Gerlach, kannte Heisenbergs neue Gedanken nicht. Das belegt sein Brief vom November 1944, in dem er auf den Vorwurf antwortet, der Uranverein arbeite zu wenig an kleinen Atombomben, die von Raketen getragen werden könnten: Leider sei die »stürmische Vermehrung« der Neutronen nur in Anordnungen mit vielen Tonnen von Uran und Moderator möglich. Goudsmit hatte den Brief 1947 als Beweis für das bis Kriegsende untaugliche Konzept der Bombe als Faksimile veröffentlicht. Aber Walker behauptete,



Heisenbergs Originalzeichnung von 1942: Links skizzierte er das Geschehen in einem Reaktor, rechts in einer Atombombe. Im Reaktor kann ein schnelles Neutron an Uran-238-Kernen (gefüllte Kreise) streuen oder diese spalten, oder es gelangt in den Moderator (kleine leere Kreise), kehrt als thermisches Neutron zurück und spaltet einen Uran-235-Kern (große leere Kreise). In der Bombe mit reinem Uran-235 hingegen werden neue Spaltungen direkt ausgelöst.

Gerlach habe Reaktorexperimente beschrieben. Das ist nicht nur wegen des Kontextes des Briefs, der Frage nach der Bombe, widersinnig: Von einem Reaktorexperiment wäre nach einer »stürmischen Vermehrung« der Neutronen nicht viel übrig geblieben.

Meine Analyse der Dokumente gibt Goudsmit Recht, der schon 1947 resümiert hatte, dass die deutschen Wissenschaftler den Unterschied zwischen Reaktor und Bombe nicht verstanden hatten. Goudsmit war für diese Bewertung prädestiniert: Er war selbst Kernphysiker, vor dem Krieg mit Heisenberg befreundet und sprach fließend Deutsch. Sein Verhältnis zu den Deutschen war nach dem Krieg schwer belastet, da seine Eltern in Auschwitz ermordet worden waren. Er kannte die Dokumente, die er gesammelt hatte, und konnte sie fachlich korrekt bewerten. Er hatte zudem viele deutsche Labore gesehen und die festgenommenen Wissenschaftler selbst verhört.

Die Rückbesinnung auf Goudsmits Urteil hat auch den Vorteil, nun alle Erkenntnisse konsistent zu machen. So ist jetzt klar, warum die deutschen Wissenschaftler nicht versuchten, die Wirkungsquerschnitte für die Spaltung durch schnelle Neutronen mit einem Zyklotron zu bestimmen: Sie wussten nicht, dass sie für die Bombe wichtig waren.

Belauschte Gespräche nach Kriegsende untermauern die Analyse

Es ist ein einzigartiger Glücksfall, das Ergebnis der Analyse der Dokumente durch eine weitere Quelle prüfen zu können: Nach dem Krieg waren die wichtigsten Mitglieder des Uranvereins ab Anfang Juli 1945 sechs Monate auf dem englischen Landsitz Farm Hall interniert. Das Haus war verwandt, und alle Gespräche wurden aufgezeichnet. Daraus entstand ein teilweise wörtliches, teilweise zusammenfassendes Protokoll in englischer Sprache, das 1992 veröffentlicht wurde. Es erlaubt uns, heute noch – quasi live – mitzuerleben, wie die deutschen Wissenschaftler auf die Nachricht vom Abwurf der Atombombe auf Hiroshima reagierten. Einige sind erleichtert, dass sie die Bombe nicht gebaut hatten, andere bestürzt, dass die weltweite Führungsrolle der deutschen Kernphysik verloren war. Während der folgenden Tage versuchen sie erregt, das Funktionsprinzip der Bombe zu verstehen.

Bernstein staunte über den geringen intellektuellen Gehalt der Diskussion: Die Mitglieder des Uranvereins hatten bisher offensichtlich keine Ahnung von der Bombe. Von Hahn befragt, bekennt Heisenberg, die kritische Masse nie berechnet zu haben – was er noch in Farm Hall nachholte. Beim ersten Versuch macht er schwere Fehler und erhält als Ergebnis eine kritische Masse von einer Tonne Uran-235. Dabei verkalkuliert er sich sogar bei der einfachen Aufgabe, das Volumen der Urankugel aus ihrem Radius zu ermitteln. Eigentlich hätte sein Ergebnis sogar 13 Tonnen lauten müssen. Die beiden größten Atombombenexperten jener Zeit – Edward Teller, der oft als Vater der Wasserstoffbombe bezeichnet wird, und Hans Bethe, der Leiter der Theorieabteilung für Bombenphysik im Manhattan-Projekt – haben aus dem Protokoll geschlossen, dass Heisenberg die Berechnung tatsächlich erstmals versuchte. Er beging typische

Anfängerfehler, die auch ihnen unterlaufen waren. Bernstein war überzeugt: Keinem Wissenschaftler würden solche Schnitzer ein zweites Mal passieren. Das anschließende Rätselraten der Physiker über den Wirkungsquerschnitt für die Spaltung von Uran-235 mit schnellen Neutronen, das im Protokoll Seiten füllt, bestätigt ihre Unkenntnis.

Eine Woche später hält Heisenberg einen eindrucksvollen Seminarvortrag über die Physik der Bombe. Er hatte erstaunliche Fortschritte gemacht und viele wesentliche Aspekte richtig erkannt. Dazu gehörte ebenfalls das Problem der Effizienz der Bombe, wengleich er es immer noch unterschätzte. Dieses Wissen, das oft als Beleg für die richtigen Vorstellungen der deutschen Physiker über die Bombe bewertet wurde, ist eindeutig erst nach dem Krieg – und in Kenntnis wichtiger Fakten über die Hiroshima-Bombe – entstanden.

Die Farm-Hall-Protokolle untermauern das Ergebnis der Analyse der Dokumente: Den Mitgliedern des Uranvereins war die Funktionsweise einer nuklearen Explosion fremd. Heisenbergs Anfängerfehler belegen, dass er sie noch nie

Alle Verantwortlichen wollten ein Großprojekt vermeiden – mit einer erreichbaren Bombe wäre es beschlossen worden

durchgerechnet hatte. Sein Seminarvortrag wiederum zeigt, dass ihm eine Woche genügte, um ein Grundverständnis der Physik der Bombe zu erlangen. Das ist der Gegenbeweis sowohl zu Roses Behauptung, er sei dazu nicht fähig gewesen, wie auch zu Powers Theorie, er habe es schon früher gewusst. Nach dieser Feststellung drängt sich allerdings der Umkehrschluss auf, den keiner der Historiker gezogen hat: Offenbar hat Heisenberg während des Kriegs nicht einmal eine Woche lang ernsthaft über die Physik der Bombe nachgedacht.

30 bis 40 Jahre nach dem Krieg war ich als Leiter des bundesdeutschen Kerntechnikprogramms in gewisser Weise ein Nachfolger Gerlachs. Deshalb ist mir auch etwas sehr Ungewöhnliches an der Arbeitsweise des Uranvereins aufgefallen. Wenn man technologisches Neuland betritt, ist es sinnvoll, anfangs mehrere alternative Lösungen zu verfolgen. Mit fortschreitender Zeit sollten aber die personellen und finanziellen Ressourcen auf die erfolgversprechenderen übertragen werden, bis sich zuletzt alle Kraft auf die aussichtsreichste Strategie konzentriert. Beim Uranverein geschah das Gegenteil: Die Zahl der Reaktorexperimente und der untersuchten Verfahren für die Isotopentrennung nahm mit den Jahren zu. Die Historiker vermuteten dahinter Führungsschwäche. Aber da eine Fokussierung nicht ein einziges Mal versucht wurde, liegt vielmehr der Schluss nahe: Dieses Projekt war nicht ernsthaft erfolgsorientiert. Viele Wissenschaftler fürchteten, dass sie im Fall der Einstellung ihres Vorhabens nicht zu einem anderen wechseln, sondern an die Front beordert würden.

Für all die verstreut arbeitenden Grüppchen waren ihre Teilprojekte eine Lebensversicherung. Während Millionen von Menschen an den Fronten des Kriegs fielen, durch Bombardierungen in den Städten umkamen und in Vernichtungslagern ermordet wurden, konnten sie bis zuletzt in ihren 1944 in die Provinz verlagerten Instituten weitgehend frei forschen. So lächerlich gering die personelle und finanzielle Ausstattung gemessen an der Aufgabe auch war, sie hatten viel mehr Geld zur Verfügung als in den 30 Jahren zuvor, die durch den Ersten Weltkrieg und die Wirtschaftskrise gekennzeichnet gewesen waren. Ein zentralisiertes Großprojekt hätte diese Idylle zerstört – und wäre lebensgefährlich gewesen. Sogar der erste Programmleiter Abraham Esau hatte seine Kollegen gewarnt, zu viel über die Atombombe zu reden: Wenn »es möglich ist, eine Atombombe zu bauen, dann werden Sie alle zur Arbeit herangezogen. Doch wenn zwei Jahre später noch immer keine Bombe existiert, dann sind Sie verloren.« Alle, die Wissenschaftler wie die staatlich Verantwortlichen, fürchteten deshalb ein Großprojekt. Es wäre aber sehr wahrscheinlich beschlossen worden, wenn die Bombe in Reichweite gekommen wäre. So war es besser, sich nicht mit ihrer Physik zu beschäftigen.

Man kann nur verschweigen, was man nicht weiß

Für Heisenberg galt das besonders. Im Juli 1937 war er im SS-Kampfblatt »Das schwarze Korps« als »weißer Jude« denunziert worden, weil er Relativitätstheorie und Quantenphysik unterstützte, die in den Augen der Nationalsozialisten »undeutsch« waren. Dieser Vorwurf hätte Internierung und Tod in einem Konzentrationslager bedeuten können. Heisenberg bewirkte jedoch eine Untersuchung durch den »Reichsführer SS«, Heinrich Himmler. Sie nahm ein ganzes Jahr in Anspruch. Wieder und wieder wurde er verhört. Wahrscheinlich ist seine Rettung dem Einsatz seines Kollegen Ludwig Prandtl zu verdanken, der als Leiter des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung wichtig für die Aufrüstung der Luftwaffe war. In dieser Zeit muss Heisenberg klar geworden sein: Man konnte diesem totalitären Regime nur verschweigen, was man nicht wusste. Dass er nie herausgefunden hatte, wie die Bombe funktioniert, war nicht Unfähigkeit, sondern Klugheit.

Das klärt am Ende vielleicht eine weitere Frage, die sich mancher Naturwissenschaftler stellen dürfte: Selbst wenn die Beschäftigung mit der Bombe Zeitverschwendung gewesen wäre, weil sie auf absehbare Zeit unerreichbar war – hätte die deutschen Physiker ihre sonst so ausgeprägte Neugier nicht dazu drängen müssen, herauszufinden, welche extremen Vorgänge sich in solch einer Höllenmaschine abspielen? Offenbar war ihre Angst größer als ihre Neugier.

Durch die Vernachlässigung oder Verkennung physikalischer Gesetzmäßigkeiten hat sich in der Geschichtsschreibung eine dicke Schicht von Fehlern über den Fakten ausgebreitet – und das, obwohl mehrere amerikanische und deutsche Physiker viele Unkorrektheiten benannt haben, darunter die besten Kenner der Physik der Bombe. Ihrer Anerkennung stand bisher der vermeintliche Beweis über das Wissen über die kritische Masse der Bombe entgegen,

den Walker dem Bericht des Heereswaffenamts entnommen hatte. Nun ist klar, dass auch dieser letzte, bislang unwidersprochene Beleg für Walkers Deutung eine Fehlinterpretation war. Damit ist eine Neubewertung erforderlich. Dabei sollte die Geschichtsschreibung künftig zwingende Ableitungen, was damals möglich oder unmöglich war, berücksichtigen und bei der Interpretation des physikalischen Inhalts der Dokumente die Fachkunde von Naturwissenschaftlern nutzen.

Das Fazit meiner Analyse lautet: Die deutschen Wissenschaftler wussten im »Dritten Reich« nicht, wie eine Atombombe konstruiert werden muss. Sie haben nicht an der Physik der Bombe gearbeitet und keine Schritte unternommen, sie zu bauen. Zwar wäre der Reaktor, den sie erfolglos zu entwickeln versuchten, technisch eine Voraussetzung für eine Plutoniumbombe gewesen, aber ohne Einsicht in die Physik der Bombe war er ein ziviles Ziel – abgesehen von der Möglichkeit, ihn möglicherweise zum Antrieb von Kriegsschiffen einzusetzen.

Es waren nicht ökonomische Grenzen, die verhinderten, dass Hitler in den Besitz von Atomwaffen gelangte; jedenfalls sind die deutschen Physiker nie auch nur in deren Nähe gekommen. Der wichtigste Grund war die Angst vor dem nationalsozialistischen Regime. Schon Goudsmit hatte geschrieben, dass »Wissenschaft unter dem Faschismus nie ein Äquivalent der Wissenschaft in einer Demokratie war«.

Ob Mitglieder des Uranvereins moralische Bedenken hatten, eine Atombombe für Hitler zu bauen, können wir den Quellen nicht entnehmen. Aber sie haben, wie die Farm-Hall-Protokolle belegen, eine gemeinsame Lesart ihrer Geschichte entwickelt: Sie hätten sehr wohl gewusst, wie eine Atombombe gebaut werden könnte; dies sei unter den damaligen Bedingungen jedoch schlicht nicht möglich gewesen. Sie haben also selbst zu Walkers Interpretation beigetragen. Auch ihnen schien es wohl im Blick auf denkbare Vorwürfe im Nachkriegsdeutschland angenehmer zu sein, die »Wunderwaffe« wäre nur aus ökonomischen Gründen ausgeblieben. Tatsächlich haben sie einen großen Bogen um die Bombe gemacht. Es ist ein tröstlicher Gedanke, dass dem nationalsozialistischen Regime gerade wegen seiner Unmenschlichkeit diese Waffe verwehrt blieb. Unter einer demokratischen Regierung hätten einige der Physiker möglicherweise ebenso eifrig an der Entwicklung der Bombe gearbeitet wie ihre Kollegen in den USA. Andere waren erleichtert, dass ihnen das erspart geblieben war. Für sie hat Otto Hahn das Schlusswort gesprochen: »Ich danke Gott auf den Knien, daß wir die Uranbombe nicht gemacht haben.« ◀

QUELLEN

Bernstein, J.: Hitlers Uranium Club. Copernicus, New York 2001

Popp, M.: Misinterpreted Documents and Ignored Physical Facts: The History of »Hitler's Atomic Bomb« Needs to be Corrected. In: Berichte zur Wissenschaftsgeschichte 39, S. 265–282, 2016

Reed, B. C.: The Physics of the Manhattan Project. Springer, Heidelberg 2015

Walker, M.: Die Uranmaschine – Mythos und Wirklichkeit der deutschen Atombombe. Siedler, Berlin 1990