

## 10 Die Atombombentechnologie wird entwickelt

Wieviel  $^{235}\text{U}$  oder Plutonium braucht man für eine Bombe? Welche Zerstörung wird sie bewirken?

Das waren lebenswichtige, anwendungsorientierte Fragen, aber zu Beginn des *Manhattan-Projekts* waren die Antworten vage und so sollte es noch eine ganze Zeit bleiben.

Die Briten hatten in ihrem *MAUD Report* über die Atombombe die Menge  $^{235}\text{U}$  vorläufig geschätzt: 10 kg  $^{235}\text{U}$ , wovon etwa 2% an der Explosion teilhaben und damit die Energie von 3600 Tonnen TNT freisetzen sollten, aber nur etwa die halbe zerstörende Wirkung<sup>1</sup> entwickeln würde (Anm. des Übers.: Ein Teil davon als zusätzliche Strahlungsleistung).

Um diese Abschätzungen zu untermauern, waren Zahlenwerte für Reaktionen von Kernen mit schnellen Neutronen erforderlich, ähnlich denen, wie Fermi sie für langsame Neutronen mit seinem Uran/Graphitreaktor erarbeitet hatte. Messungen mit schnellen Neutronen waren zwar 1940/1941 in Cambridge und Liverpool, im Rahmen des *MAUD*-Programms, und etwas später in mehreren amerikanischen Universitäten ausgeführt worden, dabei waren aber erhebliche Widersprüche aufgetreten, so daß es nicht einfach war, einen verlässlichen Datensatz zusammenzustellen. Eine der Schwierigkeiten lag darin, daß erst ab 1944 in Oak Ridge hinreichende Probenmengen von angereichertem Uran und von Plutonium zur Verfügung standen.

Noch schwerer war es, die Effektivität der Bombe abzuschätzen. Im *MAUD Report* waren 2% angenommen worden, aber 1941/42 wurden Werte bis zu 10% diskutiert. Was also getan werden mußte, war exakt auszuarbeiten, was in dem Bruchteil einer Sekunde vor sich geht, in dem die überkritische Menge zusammenkommt und explodiert; insbesondere mußte das Verhalten der Neutronen genau bekannt sein. Hierzu mußte man sich fast ausschließlich auf theoretische Berechnungen stützen.

Experimente kleineren Maßstabes haben hier keine Chance, denn unterhalb der kritischen Masse kann keine Explosion herbeigeführt werden; Versuchsexplosionen verlangen notwendigerweise die ganze Masse.

In der USA war die Verantwortung für die eigentlichen Waffensysteme

---

<sup>1</sup> Die „Brisanz“ der Atombombenexplosion unterscheidet sich von der einer Sprengung, z. B. mit TNT.

## Die Atombombentechnologie wird entwickelt

ursprünglich Compton zugewiesen worden. Von Lawrence wurde für diesen Teil der Arbeit ein relativ junger theoretischer Physiker nachdrücklich empfohlen, nämlich J. Robert Oppenheimer, dem Compton im Mai 1942 die Leitung einer kleinen Arbeitsgruppe im *Met. Lab.* übertrug. Diese Aufgabe wurde damals nicht als beträchtlich angesehen; Optimisten sprachen von einer dreimonatigen Arbeit für zwanzig Physiker.

Oppenheimer besaß in Berkeley noch ein schlagkräftiges Team, das über die Theorie von Kernexplosionen arbeitete und zu dem auch Edward Teller gehörte, ein weiterer imponierender Ungar. Dieses Team entwickelte eine überraschende, neue Idee. Als Kernphysiker kannten sie die Tatsache, daß Energie nicht nur durch die Spaltung sehr großer Kerne, sondern auch bei der Verschmelzung (Fusion) sehr kleiner Kerne miteinander freigesetzt werden kann, vor allem bei der Fusion der Kerne der Wasserstoffisotope. Sie erkannten, daß in Materialien, die solche leichten Kerne enthalten und die auf sehr hohe Temperaturen erhitzt werden, wie sie im Inneren der Sonne herrschen, die Fusionsreaktion stattfinden könnte. Und sie erkannten außerdem, daß solche hohen Temperaturen mithilfe von Atombomben erzielt werden können. Damit war die Idee der Wasserstoffbombe oder Superbombe, wie sie auch genannt wurde, geboren, die noch viel stärker als die Atombombe sein würde.

Die Arbeit über die Superbombe mußte warten, aber Tellers Vorstellung, daß die Explosion einer Atombombe die Fusion des Wasserstoffs im Wasserdampf der umgebenden Atmosphäre oder im Wasser der Ozeane hervorrufen könnte, erheischte sofortige Beachtung. Die ganze Sache könnte mit unvorstellbarer Gewalt explodieren und unsere Welt in die Luft sprengen. Solange diese Möglichkeit nicht mit Sicherheit ausgeschlossen war, konnte keine Atombombe gezündet werden.

Deshalb wurde die Aufnahme von Untersuchungen über die Kernfusion in das Programm erforderlich, was sich später in der Entwicklung der Wasserstoffbombe bezahlt machte. Während des Krieges war die Entwicklung jedoch stets auf die Spaltungsbombe ausgerichtet, was sowieso eine Vorbedingung für die Wasserstoffbombe ist.

Als Oppenheimer begann, sich mit dem ihm zugewiesenen Auftrag herumzuschlagen, wurden ihm dessen vielschichtige Schwierigkeiten erst richtig gewahr. Damals, in jenem ersten Sommer 1942, erwies sich allein das koordinieren der über die ganzen USA verstreuten Untersuchungen über schnelle Neutronen und verwandte Gebiete als eine hektische Aufgabe. Die selbstverständliche Lösung dafür lag nach Oppenheimers Vorstellungen in einem Speziallabor für die Waffenentwicklung mit etwa 30 Wissenschaftlern, zumeist Physikern, die dort eng zusammenarbeiten könnten.

Im Frühherbst wandte er sich mit dieser Vorstellung an Groves, dem sie sofort einleuchtete. Sie implizierte, daß der sensibelste Teil des *Manhattan-*

## Die Atombombentechnologie wird entwickelt

*Projects* für sich isoliert werden könnte, so daß die Geheimhaltung besonders gut gewährleistet war. Außerdem stellte sich Groves für dieses vorgeschlagene Institut weitergehende Aufgaben vor. Nicht nur die Forschung, sondern auch die Planung und Produktion der Bombe ebenso wie die Durchführung der Testexplosionen könnten dort ausgeführt werden.

Der Standort, Los Alamos in den südlichen Rocky Mountains, wurde im November 1942 ausgewählt. Er liegt in einer fremdartigen, einsamen Region erloschener Vulkane, die Oppenheimer in seiner Jugend kennen und lieben gelernt hatte. Von Norden nach Süden verlaufende Canyons teilen das Gebiet in voneinander getrennte Streifen auf, flache Tafelberge, die *Mesas* genannt werden. Steile Felshänge machen die Mesas, von einigen begrenzten Aufstiegen abgesehen, schwer zugänglich. Der nächste größere Ort, Santa Fe, ist etwa 50 km entfernt. Für Groves erschien Los Alamos ideal.

Wer sollte der Direktor des neuen Labors werden? Oppenheimer, der relativ unerfahrene Theoretiker? Oder jemand mit praktischer Erfahrung oder größerem Ansehen, etwa ein Nobelpreisträger? Außerdem hatte Oppenheimer linke Ideen unterstützt und sowohl seine Frau als auch sein Bruder waren einmal Mitglieder der Kommunistischen Partei gewesen. Aber selbst nach mehreren Wochen konnte niemand Groves eine bessere Wahl anbieten, außer man hätte Lawrence oder Compton von ihren unbedingt notwendigen Aufgaben abgezogen. Oppenheimer erzielte brillante Erfolge und im Nachhinein erscheinen seine Beiträge als unverzichtbar. John H. Manley, einer seiner ersten Assistenten schrieb über „die erstaunlich rasche Verwandlung des Theoretikers Robert Oppenheimer in einen höchst effektiven Betriebsleiter und Verwalter.“ Für viele wurde *Oppie* eine charismatische Gestalt.

Aber es schwebte ein Fragezeichen über ihm. Immer, wenn er Los Alamos verließ, beschatteten ihn Sicherheitsdienste während des ganzen Jahres 1943. Am 12. Juni beobachteten sie, daß er seine frühere Freundin, die bekannte Kommunistin Jean Tatlock besuchte und bei ihr über Nacht blieb. Am 12. September verweigerte er in einem Verhör zu einem früheren Spionageversuch in Berkeley konkrete Aussagen. Alles in allem bildete ihr Oppenheimer-Dossier das klassische Beispiel eines Sicherheitsrisikos.

Trotz allem hielt der sonst so sehr auf Sicherheit bedachte Groves an Oppenheimer fest, erklärte, daß er absolut unersetzlich sei, und gab ihn auch nicht her, als später noch weitere Verdächtigungen auftauchten. Groves zweifelte nie an Oppenheimers vaterländischer Gesinnung. Auch wenn es Groves nicht gewußt haben mag, so hätte Oppenheimer es schon deshalb nie versucht, amerikanische Geheimnisse der UdSSR zukommen zu lassen, weil er aus Diskussionen mit Plačzek und anderen befreundeten Physikern, die in jenem Staat gelebt hatten, wußte, daß dort Terror und Leiden herrschten.

Während dieser Zeit wurde das *Los Alamos Labor* gebaut und eingerichtet. Im Frühjahr 1943 wurde ein anfängliches Programm in Umrissen entworfen.

## Die Atombombentechnologie wird entwickelt

Abgesehen von der Physik der schnellen Neutronen und den Untersuchungen über den Explosionsvorgang mußten die Methoden der Herstellung des eigentlichen Sprengstoffs, vermutlich in metallischer Form, sowie die Konstruktion der Bombe selbst erarbeitet werden. Das bedeutete umfangreiche chemische, metallurgische und waffentechnische Arbeiten, – viel mehr, als die Physiker sich ursprünglich vorgestellt hatten. Vor allem waren Untersuchungen über Plutonium erforderlich, seine Reinigung, seine Überführung in den metallischen Zustand, seine Eigenschaften als Metall und dessen Bearbeitung. Durch die außergewöhnliche Toxizität dieses neuen Elements wurden diese Aufgaben noch erschwert; oft mußten besondere, teilweise umständliche Arbeitsmethoden erfunden werden. Außerdem wurden sowohl  $^{235}\text{U}$  als auch Plutonium lange Zeit nur in sehr geringen Mengen angeliefert, so daß sie nach der Ausführung eines Experiments gewissenhaft für die Wiederverwendung zurückgewonnen werden mußten.

Aus den weiter oben genannten Gründen wurde in kleinerem Maßstab auch das Wasserstoffbombenprojekt weitergeführt.

Die Laboratorien, Werkstätten und Büros wurden mit der durch den Krieg bedingten Eile auf der Los Alamos Mesa gebaut, auf einer benachbarten Mesa ein eigenes Gemeinwesen mit Wohnhäusern, Geschäften, Kinos, Schulen und Kirchen. Stacheldraht zäunte das ganze Gebiet und darinnen noch einmal die „Technischen Anlagen“ ab. Nicht nur die Wissenschaftler, sondern auch ihre Familienangehörigen waren bezüglich ihrer Reisen, ihrer Post und ihrer Kontakte nach draußen strengen Beschränkungen unterworfen.

Genau wegen dieser technischen Sicherheitsmaßnahmen setzte sich Oppenheimer für eine weitestgehende Diskussionsfreiheit hinter dem Stacheldraht ein, der Groves zustimmte, – im Hinblick auf die Neuartigkeit der Situation ein wichtiges Zugeständnis, das er später als einen Fehler ansah. Groves verzichtete auch darauf, das Gebiet zu einem rein militärischen Gebiet zu erklären, in dem jedermann Uniform trägt, weil es sich als unmöglich erwies, unter dieser Voraussetzung all jene Wissenschaftler zu gewinnen, die Oppenheimer haben wollte. Einer der angeworbenen, nämlich Robert F. Bacher, verband seine Zusage mit einer Absage für den Tag, an dem das Labor eine militärische Einrichtung werden würde.

Diese Anwerbungen waren in jedem Einzelfall eine schwierige Sache. Oppenheimer mußte seine Leute aus wichtigen Positionen herausholen, ohne aber in der Lage zu sein, ihnen ihre Aufgaben in Los Alamos genauer zu umreißen. Die benötigte Anzahl wuchs beständig und bei Kriegsende lebten dort 6000 Leute. Dazu gehörten einige der größten mathematischen und physikalischen Köpfe der Welt. Wie in den anderen Kernanlagen auch wurden mehrere Schlüsselstellungen von Leuten eingenommen, die aus Europa ausgewandert waren, z. B. leitete Hans A. Bethe aus Deutschland die wichtige theoretische Abteilung und Teller war dabei, der *Vater der Wasserstoffbombe*

zu werden. Ein Gastwissenschaftler sprach von der *einzigartig intellektuellen Atmosphäre* in Los Alamos.

Gemäß dem Quebec-Abkommen von 1943 gab es auch einen kleinen Zustrom britischer Wissenschaftler, alles Spitzenleute, einschließlich Peierls und Frisch. Groves nahm sie in sein *Allerheiligstes* auf, weil sie helfen konnten, die Arbeit zu beschleunigen, und ihr Beitrag übertraf ihren zahlenmäßigen Anteil bei weitem. Aber auch der deutsche Flüchtling Klaus Fuchs<sup>2</sup> gehörte dazu. Er und der Amerikaner David Greenglass sollten die Geheimnisse von Los Alamos an die UdSSR verraten. Fuchs hatte sich als Student in Deutschland Anfang der 30er Jahre dem Kommunismus zugewandt, und zwar weitgehend in Anbetracht der Leiden seiner Familie unter den Nazis. Er war ein hochbefähigter mathematischer Physiker und war 1941 in Birmingham zu Peierls gestoßen, wo er unter dem Schutz eines anscheinend ruhigen, untadeligen Lebenswandels ein Jahr später anfing, Informationen in die UdSSR weiterzugeben.

Als Fuchs nach Los Alamos geschickt wurde, wollte er aus verschiedenen Gründen seine Verbindung zum sowjetischen Spionagering fallen lassen. Sein Verbindungsmann, Harry Gold, ein naturalisierter Amerikaner, unternahm krampfhaft Anstrengungen, ihn aufzuspüren und schließlich trieb er ihn Anfang 1945 auf, als Fuchs seine Schwester in Cambridge (Massachusetts) besuchte. Fuchs fertigte danach für Gold einen umfangreichen Bericht über die Arbeiten in Los Alamos an und händigte ihm später Unterlagen über die Plutoniumbombe und über die in New Mexico bevorstehenden Tests aus.

Groves hat später niedergeschrieben, „nach der Aufdeckung von Fuchs' Status habe ich nicht mehr daran geglaubt, daß die Briten überhaupt irgendwelche Überprüfungen vornahmen“, aber diese Anschuldigung war gar nicht gerechtfertigt. Die britischen Sicherheitsdienste hatten Fuchs zunächst nur eine begrenzte Genehmigung erteilt, weil ihnen sein kommunistisches Umfeld mitgeteilt worden war; polizeiliche Nachforschungen hatten aber nach seiner Ankunft in Großbritannien nichts Verdächtiges mehr aufgedeckt, so daß er bald darauf das volle Vertrauen erhielt und naturalisiert wurde, denn man benötigte ihn dringend.

---

<sup>2</sup> Anm. d. Übers.: Der deutsche Atomspion Klaus Fuchs kam im Sommer 1941 zum britischen Atomprojekt (s. u. Kap. 13 ff.), entschloß sich aber bereits im Juni 1941, nach Hitlers Einmarsch in die Sowjet-Union, die sowjetischen Behörden über die britischen Arbeiten für Atombomben zu informieren, und zwar sowohl über die politischen Atomwaffenpläne der Briten und Amerikaner, als auch über Details für den Aufbau von Gasdiffusions-Isotopentrennanlagen, so daß Stalin bereits 1942 mit dem sowjetischen Atomprojekt startete. Von Dezember 1943 bis Juni 1946 war Fuchs Mitglied des britischen Teams beim *Manhattan-Project* (R. C. Williams: Klaus Fuchs, Atomic Spy, Harvard Univ. Press, Cambridge (Mass.) 1987; ISBN 0-674-50507-7).

## Die Atombombentechnologie wird entwickelt

Ebenso wie im Fall Oppenheimer hatten die nationalen Interessen, so wie sie damals verstanden wurden, über die Sicherheitsbefürchtungen obsiegt. Was die Verantwortlichen nicht wußten, war, daß die Leidenschaft noch brannte, die Fuchs zu einem Kommunisten gemacht hatten, was logischerweise dazu führte, daß er die Russen alles wissen ließ, was er über die kernphysikalischen Arbeiten wußte. Im Gegensatz zu Oppenheimer war Fuchs noch nicht durch die UdSSR desillusioniert; das passierte erst nach dem Krieg, und trug zu seiner Aufdeckung und Festnahme bei, worüber in einem späteren Kapitel berichtet wird.

Zum britischen Team gehörte auch Niels Bohr, der seine Identität vor der Außenwelt hinter dem Pseudonym Nicholas Baker verbarg. Nachdem er 1943 in einem Fischerboot aus Dänemark entkommen war, besuchte er Los Alamos mehrmals für längere Zeit. Er war einer der vielen, die von Ferdinand Duckwitz, einem mutigen Angehörigen der deutschen Botschaft in Kopenhagen vor der drohenden Deportation der Juden gewarnt worden war.

In Los Alamos war jeder auf seine Ratschläge begierig. Die Wissenschaftler waren sich dort genau darüber im Klaren, daß sie nur auf der Theorie aufbauten, also ohne Testexplosionen zur praktischen Nachprüfung ihrer Ergebnisse. Wegen seines tiefen Verständnisses für die Physik war Bohr dazu ausersehen, mit ihnen über ihre Argumente zu diskutieren und ihren eventuellen Irrtümern und Fehlern nachzuspüren.

Zu jener Zeit war er einer der wenigen, die anfangen, über die Nachkriegszeit nachzudenken und über die Probleme, die die Atombombe in den Jahren danach schaffen würde. Als er einmal nach den Aussichten des *Manhattan-Projects* gefragt wurde, antwortete er: „Es wird natürlich Erfolg haben. Aber was dann?“

Er schöpfte Hoffnung aus dem Umstand, daß ein voll entfesselter Atomkrieg nahezu unfaßbar zerstörerisch sein würde. Er vertraute darauf, daß aus diesem Grunde eine neue Ära größerer Offenheit zwischen den Nationen beginnen könnte. Das Überleben würde davon abhängen.

Bohr diskutierte diese Vorstellungen mit Roosevelt, Bush, Lord Halifax, Lord Cherwell und anderen, von denen die meisten mit ihm übereinstimmten. Für Churchill waren Bohrs Ansichten jedoch ein verworrener Idealismus, und zwar vor allem sein Vorschlag, daß Amerika und Großbritannien einen ersten Schritt in dieser Offenheit tun sollten und Rußland vor der ersten Kernexplosion in Kenntnis setzen sollten. Er war nur schwer davon abzubringen, Bohr als ein großes Sicherheitsrisiko zu behandeln.

Während Bohrs Vorstellungen den politischen Folgen vorseilten, hatte Los Alamos immer noch technische Probleme zu lösen. Manchmal drohten sie das ganze Vorhaben zunichte zu machen und Oak Ridge und Hanford in gewaltige Fehlinvestitionen zu verwandeln. Man stelle sich etwa vor, daß zwischen dem Einfang eines primären Neutrons und der Abgabe der sekundä-

## Die Atombombentechnologie wird entwickelt

ren Spaltungsneutronen eine kleine Zeitverzögerung auftritt. Dann würden ähnliche Verzögerungen auch zwischen den weiteren Schritten der Kettenreaktionen erfolgen, so daß sich die ganze Reaktion zu langsam entwickelt, um trotz der schnellen Neutronen in eine wirkungsvolle Explosion zu münden. (Mit langsamen Neutronen entwickeln sich die Ketten sowieso zu langsam, weil die Neutronen für ihren Weg von einem Uranatom zum nächsten zu viel Zeit verbrauchen wie oben bereits dargelegt wurde.) Diese Unsicherheit wurde im November 1943 durch Zyklotronexperimente ausgeräumt, wonach diese zeitlichen Zwischenräume hinreichend kurz sind und deshalb keine Rolle spielen. Weitere Zweifel konzentrierten sich auf die Frage einer vorzeitigen Explosion. Im *MAUD-Report* war ja schon erkannt worden, daß eine vorzeitige Explosion in der Bombe eher zu einem Verpuffen als zu einer Explosion führen werde, und zwar als Folge einer zu großen Anzahl zufälliger Neutronen oder einer zu langsamen Zusammenführung der überkritischen Masse oder von beiden Effekten gemeinsam.

Unkontrollierte Neutronenquellen können durch chemische Verunreinigungen entstehen. Diese treten nicht selbständig als Neutronenquellen auf, aber in Gegenwart von Uran oder Plutonium können sie sich derart verhalten. Die tolerierbaren Mengen solcher Verunreinigungen sind sehr klein, so daß Kernsprengstoffe, vor allem Plutonium sehr hoch gereinigt werden müssen und sich Los Alamos plötzlich in der Rolle einer chemischen Fabrik sah, die diese notwendigen Reinigungsarbeiten ausführen mußte.

Keine noch so gute Reinigung kann jedoch die Neutronen, die von Uran oder Plutonium selbst stammen, entfernen; wie aus dem *MAUD-Report* hervorgeht, erfolgt diese Neutronenerzeugung bei der sogenannten spontanen Kernspaltung (Kap.6). Aber auch hierzu gab es Überraschungen. So fand Segrè in Los Alamos beim  $^{235}\text{U}$  eine höhere Spaltungsrate und damit auch mehr Neutronen als in Berkeley. Dies wurde bald darauf als ein Höhenstrahlungseffekt gedeutet, denn die Intensität der Höhenstrahlung (Anm. d. Übers.: das ist die hochenergetische Strahlung aus dem Weltall) ist in Los Alamos in 2400 m Höhe größer (als in Berkeley, das praktisch in Meereshöhe liegt, Anm. d. Übers.). Wenn die Kernspaltung aber z. T. auf die Höhenstrahlung zurückzuführen ist, dann ist die spontane Spaltung geringer als angenommen, was sich ermutigend auswirkte.

Im Falle des Plutoniums gab es noch eine weitere, weniger erfreuliche Überraschung. Als Segrè begann, das Material vom Experimentierreaktor in Oak-Ridge zu untersuchen, fand er eine unerwartet hohe spontane Zerfallsrate. Seaborg hatte schon davor gewarnt, daß dies passieren könne. Er hatte nämlich vorausgesehen, daß zusätzlich zu dem bisher untersuchten Isotop  $^{239}\text{Pu}$  im Reaktor auch noch das weitere Isotop  $^{240}\text{Pu}$  entstehen würde und daß dieses Isotop leicht spontan zerfallen könnte. Segrès Ergebnisse standen im Einklang mit dieser Annahme.

## Die Atombombentechnologie wird entwickelt

Besorgniserregend war, daß der Anteil an  $^{240}\text{Pu}$  in dem in Hanford für die Bombe produzierten Plutonium noch größer sein würde. Das Uran wurde, um mehr Plutonium zu gewinnen, in Hanford ganz wesentlich stärker als in Oak Ridge bestrahlt, was aber natürlich bedeutete, daß das Plutonium selbst mehr Neutronen einfieng, so daß ein größerer Teil des  $^{239}\text{Pu}$  in  $^{240}\text{Pu}$  umgewandelt wurde. Berechnungen ließen vermuten, daß die Neutronenemission durch spontane Spaltung beim Hanford-Plutonium mehrere Hundert mal größer sein würde als die theoretische Abteilung in Los Alamos veranschlagt hatte.

Wegen der Gefahr einer vorzeitigen Explosion wäre es unmöglich, das Hanford-Plutonium mittels der primitiven Kanonentechnik zur Explosion zu bringen, wie es im *MAUD-Report* vorgeschlagen worden war. Dadurch wurde ein gänzlich anderer Bombentyp notwendig.

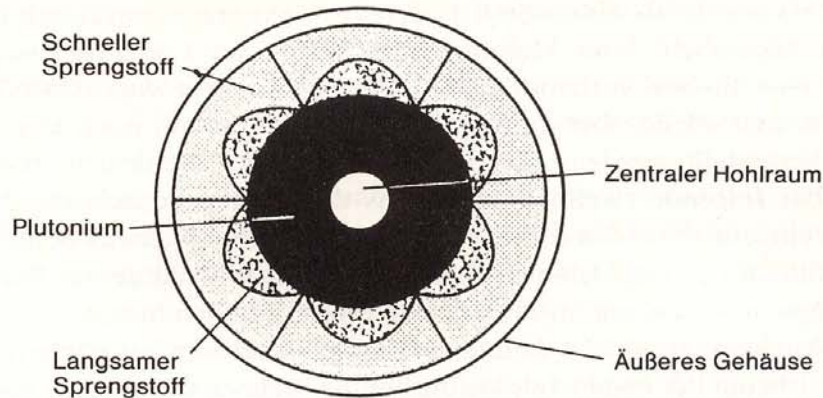
Eine Vorstellung hierzu war glücklicherweise schon im April 1943 von Seth H. Neddermeyer entwickelt worden. Sie bestand im wesentlichen aus einem von  $^{235}\text{U}$  oder Plutonium umgebenen Hohlraum im Inneren einer Kugelschale aus Sprengstoff. Wenn dieser explodiert, wird der Kernsprengstoff in das Zentrum des Hohlraums getrieben, wo dann eine überkritische, explosionsfähige Masse entsteht (Abb. 13). Einen derartigen Vorgang nennt man eine *Implosion*. Mit ihrer Hilfe konnte das gesuchte Ziel im Prinzip erreicht werden, aber damals, 1943, erschien die Verwirklichung recht schwierig, weil die Implosion streng symmetrisch erfolgen muß, so daß sich der gesamte Kernsprengstoff zur gleichen Zeit nach innen bewegt. Andernfalls würde er sich nicht zum angestrebten superkritischen kompakten Ball vereinigen. Die Kanonenmethode beruht auf einem bekannten artilleristischen Konzept, und erscheint erfolversprechender, aber sie benötigt dennoch eine verschwenderisch große Menge an Kernsprengstoff.

Neddermeyers feste Überzeugung hielt damals seine Implosionsmethode für einige Monate am Leben, aber danach verlor er selbst den Mut. Dann richtete Teller im Herbst 1943 die Aufmerksamkeit auf die Wirtschaftlichkeit der Implosionsmethode, die wegen des geringeren Materialverbrauchs doch noch günstiger als erwartet war. Das liegt daran, daß der Kernsprengstoff durch den enorm hohen Druck so stark zusammengedrückt wird, daß er eine größere spezifische Dichte erreicht und deshalb mit weniger Material kritisch wird. Damit konnte die Zeit, die man in Hanford für die Lieferung von ausreichend Material für die erste Bombe benötigte, um einige Monate reduziert werden. Man entschied daher, das Hauptgewicht auf die Entwicklung der Implosionsmethode zu setzen und den Sprengstoffexperten George B. Kistiakowsky mit der Leitung zu beauftragen. Auf diesem Gebiet waren auch die britischen Wissenschaftler in Los Alamos in der Lage, einige bemerkenswerte Beiträge zu leisten.

Dennoch ging es nur langsam voran. In seiner Planung für die kommen-



## Die Atombombentechnologie wird entwickelt



**Abb. 13.** Die Implosionsmethode. Das Diagramm zeigt einen Querschnitt durch eine Implosionsbombe. Die Zündung des herkömmlichen Sprengstoffs treibt das Plutonium in der Mitte der Anlage zusammen, wo es explodiert. Die Kombination von langsamen und schnellen Sprengstoffen bewirkt, daß sich das gesamte Plutonium zur gleichen Zeit und mit der gleichen Geschwindigkeit bewegt, so daß es den notwendigen kompakten Ball bildet

den Monate machte Kistiakowsky für Ende 1944 die abschließende, frei erfundene Eintragung: „Der Versuch mit dem Ding ging schief. Die Mitarbeiter nehmen ihre Arbeit wütend wieder auf. Kistiakowsky schnappte über und wurde eingesperrt“. Tatsächlich lief Ende 1944 nichts schief, sondern der erste Implosionsversuch brachte ein erfolversprechendes Ergebnis. Der Test war natürlich mit nicht reaktionsfähigem Material ausgeführt worden.

Inzwischen waren andere Bedenken aufgetaucht. Nach aller Mühe mit der Vermeidung von vorzeitigen Explosionen durch Streuneutronen könnte ja auch der gegenteilige Effekt auftreten, daß nämlich zu wenig Streuneutronen zur Auslösung der Explosion zur Verfügung stehen. Bei der Implosion befindet sich der Kernsprengstoff nur für ganz kurze Zeit im Idealzustand bezüglich der Kettenreaktion: Würde genügend Zeit für die Neutronenvervielfachung zur Verfügung stehen, wenn der Prozeß doch nur mit einigen wenigen Streuneutronen beginnt?

Die Antwort heißt offensichtlich: Genau im richtigen Moment muß eine Neutronenlawine auftreten; Vorrichtungen hierfür nennt man *Initiatoren*. Sie enthalten zwei Substanzen (im Initiator von 1945 waren es Beryllium und Polonium), die eine Fülle Neutronen produzieren, sobald sie gut vermischt sind, was durch die Implosion selbst erreicht wird. Ob nun ein Initiator tatsächlich funktionierte oder nicht, konnte nur durch einen Test am Waffensystem selbst festgestellt werden.

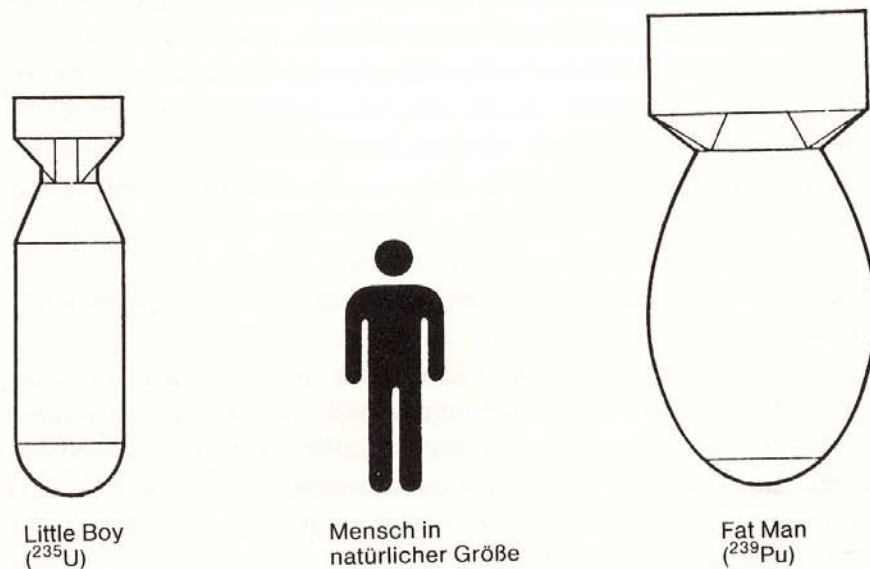
Wegen der Unsicherheiten mit der Implosion beschlossen Conant und Groves Ende 1944, die  $^{235}\text{U}$ -Produktionen auf Kanonenbomben umzudispo-

## Die Atombombentechnologie wird entwickelt

nieren. Das wurde als eine ziemlich sichere, wenn auch verschwenderische Methode angesehen. Ihrer Meinung nach würde am 1. August 1945 genug  $^{235}\text{U}$  für eine Bombe vorhanden sein, die eine Energie von 10000 Tonnen TNT freisetzen würde, aber im Rest des Jahres könnte nur noch eine weitere Bombe hergestellt werden. Das bedeutete keinen Testversuch und keine unmittelbar folgende zweite Bombe, falls die Bombe tatsächlich in jenem Sommer eingesetzt werden sollte, – eine Aussicht, die sie etwas bestürzte.

Hinsichtlich der Implosionswaffensysteme würde wohl genug Plutonium zur Verfügung stehen, um im Jahr 1945 mehrere Bomben herzustellen, sofern nur die Methode als solche funktionsfähig gemacht werden könne. Für die Energieausbeute der ersten Implosionsbombe rechneten sie lieber vorsichtig mit nur fünfhundert Tonnen TNT, obwohl die Theoretiker das Zehnfache erhofften für den Fall, daß alle Komponenten einwandfrei funktionierten. Ein Testversuch erschien notwendig, um sicherzustellen, daß die Bombe auch wirklich explodiert, wofür der Unabhängigkeitstag, der 4. Juli 1945, vorläufig vorgesehen wurde. Der Test lief unter dem Decknamen *Trinity* (Dreieinigkeit).

Mit der Festlegung dieser Termine rückte *Los Alamos* enger zusammen. Entscheidungen mußten getroffen, Entwicklungen gestoppt und Einzelteile gebaut werden. Nach all den Problemen und Rückschlägen der letzten Monate ging es nun mit allem vorwärts. Die Lieferungen von  $^{235}\text{U}$  aus Oak



**Abb. 14.** Die Bomben von Hiroshima (*links*) und Nagasaki (*rechts*). Die Gesamtgewichte betragen 4 bzw. 4½ Tonnen. Der Kernsprengstoff machte nur einen kleinen Teil davon aus

## Die Atombombentechnologie wird entwickelt

Ridge und Plutonium aus Hanford trafen in zunehmenden Mengen ein und wurden zu Bombenmaterial verarbeitet. Große Fortschritte wurden mit der Implosion erzielt. Die eigentlichen Bomben wurden gebaut: Der *Little Boy*, die relativ kleine  $^{235}\text{U}$ -Bombe vom Kanonentyp, und der *Fat Man*, die Plutoniumbombe vom Implosionstyp (Abb. 14).

Der *Trinity Test* einer Plutoniumbombe wurde in der Alamogordo-Wüste in New Mexico am 16. Juli 1945 morgens um halb sechs Uhr ausgeführt, nach mehreren Aufschüben, – um neun Tage, drei Tage, eine Stunde und endlich um 30 Minuten. Für die Leute von Los Alamos und allen voran Oppenheimer war dies der kritische Moment. Hatten sie es richtig gemacht? Hatten sie irgendetwas übersehen? Würde die Arbeit von Zehntausenden von Männern und Frauen und die Ausgabe von Milliarden von Dollars in einem Fiasko oder in einem Triumph enden? Mit dem Auszählen des Zeitpunktes Null erreichte die Spannung ihren Höhepunkt. Um Oppenheimer abzulenken, nahm Groves ihn mit hinaus, um nach dem Wetter zu schauen, das wirklich Anlaß zur Besorgnis bot. Im Gegensatz dazu zeigte Fermi keine Anzeichen einer Belastung. Als hundertprozentiger Wissenschaftler meinte er, *Trinity* sei ein wertvolles Experiment, was immer auch dabei herauskommen möge; falls die Bombe nicht losgehen sollte, so würde dies die Unmöglichkeit der Kernexplosion erweisen.

General Thomas F. Farrell, Groves Stellvertreter, befand sich zusammen mit einigen der Führungsmannschaft im Kontrollbunker gut 3 km von der Explosion entfernt. In seinem Bericht erklärt er:

„Jedermann im Raum kannte die schrecklichen, verborgenen Kräfte von dem, was da passieren sollte . . . Wir stießen in das Unbekannte vor und wußten nicht, was dabei herauskommen würde. Mit Sicherheit kann gesagt werden, daß die meisten der Anwesenden – Christen, Juden und Atheisten – beteten, und eifriger beteten als sie je zuvor gebetet hatten.“

*Trinity* war über alle Erwartungen erfolgreich. Die Beobachter, – die ersten, die den Feuerball und den Wolkenpilz sahen, waren verängstigt und überwältigt. Um wieder aus Farrells Bericht zu zitieren:

„Die Erscheinungen können ohne weiteres als einmalig, großartig, wunderbar, überwältigend und fürchterlich bezeichnet werden. Kein von Menschenhand geschaffener Vorgang von solch gewaltiger Kraft hat sich je zuvor ereignet. Die Lichteffekte übersteigen jede Beschreibungsmöglichkeit. Das ganze Land war von versengendem Licht überstrahlt, dessen Helligkeit vielmal größer war als die der Mittagssonne. Es war golden, purpurn, violett, grau und blau . . . Es hatte die Schönheit, von der die großen Dichter träumen.“

Überrascht von der Leuchtkraft des Lichts und von seiner Beobachtung gebannt wurden einige Beobachter von der Stoßwelle überrascht und umge-

### Die Atombombentechnologie wird entwickelt

worfen, die etwa dreißig Sekunden später ankam. Ihr folgte ein schreckliches Getöse, das mehrere Minuten lang in den Bergen widerhallte. Ein nüchternes wissenschaftliches Faktum: Die freigesetzte Energie war um ein Vielfaches größer als die von den Theoretikern geschätzte Obergrenze von fünftausend Tonnen TNT.

Nach der Explosion schüttelten sich Bush, Conant und Groves schweigend die Hände. Kistiakowsky entlud seine aufgestauten Emotionen, indem er Oppenheimer mit Freudengeschrei umarmte. Die allgemeine Stimmung wurde mit „von Ernsthaftigkeit beherrschter Freude“ beschrieben.

Farrell berichtete von einem Gefühl unter den Anwesenden, daß sie ihr Leben der Aufgabe widmen sollten, daß die neue Macht stets für das Gute und nie für das Böse benutzt werde.

Farrells erste Worte nach der Explosion an Groves waren: „Der Krieg ist vorbei.“ „Ja, sobald wir zwei Bomben auf Japan geworfen haben“, antwortete Groves.