

9 Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

Die Arbeiten zur Plutoniumalternative liefen parallel zur Uranisotopentrennung, aber weitestgehend unabhängig davon. Groves hatte nämlich das System der getrennten Abteilungen eingeführt. Jede Person solle in ihrer Abteilung arbeiten, aber ihre Kenntnisse über andere Abteilungen sollten auf das unbedingt nötige beschränkt bleiben. Das war gut für die Geheimhaltung, bedeutete aber den Verlust vieler nützlicher Diskussionen, so daß es in der Praxis Kompromisse geben mußte. Trotzdem war das *Met. Lab.* in Chicago auf die Arbeit zum Plutoniumprogramm beschränkt und wurde über das Uranprogramm im wesentlichen in Unkenntnis gehalten. Beide Programme trafen erst an der Spitze aufeinander, in der Ebene von Bush und Groves, sowie später beim Bau der Bomben.

Die Arbeit von Fermi und seinen Mitarbeitern am Uran/Graphit-Reaktor lieferte die wesentlichen Grundlagen, ohne die es keine Plutoniumalternative geben konnte. Im Juli 1941 hatten sie genug Uran und Graphit von hinreichender Qualität, so daß mit dem Bau einer Anzahl fast-kritischer Einheiten begonnen werden konnte, und zwar in etwa auf dem Weg, den die Franzosen zuvor mit dem Uran/Wassersystem eingeschlagen hatten. Die Amerikaner nannten dies „intermediate experiments“ (experimentelle Zwischenstufen), von denen insgesamt 30 ausgeführt wurden, – mit Verbesserungen in der Konstruktion und im Material, bis die Zeit reif war für den Versuch, eine kritische Anlage zu bauen, nämlich den sich selbst erhaltenden Reaktor. Der Erfolg jeder Stufe war durch den Neutronen-Multiplikationsfaktor, also den k -Wert bestimmt, der in Kapitel 4 besprochen ist.

Im allgemeinen wurden Gitteranordnungen verwendet. Fermi begann mit einem Gitter, das aus Graphitblöcken und mit Uranoxid gefüllten Metallkästen gebildet wurde. Der ganze Aufbau bildete einen Würfel von fast 2,5 m Seitenlänge, der etwa sieben Tonnen Uranoxid enthielt. Obwohl eine gewisse Neutronenvervielfachung stattfand, betrug der k -Wert nur 0,87, ein nicht besonders ermutigendes Ergebnis. Fermi vermutete Verunreinigungen im Oxid, und die chemische Analyse gab ihm recht. Mit reinerem Uran und mit anderen Verbesserungen stieg der gemessene k -Wert beständig an. Der Einsatz von Graphit mit einem besseren Reinheitsgrad gab im Mai 1942 den Wert $k=0,995$, also nur ganz geringfügig unter dem Zahlenwert eins. Endlich, im Juli 1942, wurde ein Wert größer als eins, nämlich $k=1,007$ erreicht.

Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

Dies bedeutete, daß eine kritische Menge prinzipiell möglich war, obwohl sie sehr groß sein mußte, es sei denn, der k -Wert könnte noch weiter erhöht werden.

Das Team zog im Sommer 1942 zu einer letzten Runde ins *Met. Lab.* und traf dort mit einer anderen Gruppe unter Samuel K. Allison zusammen, die auch mit experimentellen Zwischenstufen beschäftigt war.

Man ging davon aus, daß der Erfolg in Reichweite lag und im wesentlichen von der Qualität der verwendeten Stoffe abhinge. Beispielsweise sollte Uran als reines Metall dem Oxid überlegen sein. Es erwies sich aber, daß dies reine Metall schwer in größeren Mengen herzustellen war; obwohl mehrere Hersteller daran arbeiteten, stand es erst im November zur Verfügung. Aber selbst dann reichte es nur für das Innere des Aufbaus, während für die äußeren Teile weiterhin das Oxid verwendet werden mußte. Zwischenresultate erbrachten $k=1,07$ für Gitter aus Metall und Graphit und $k=1,04$ und $1,03$ für hochreines Oxid mit Graphit in zwei Reinheitsgraden: die Aussichten waren vorzüglich.

Die Montage des kritischen Aufbaues begann, sobald das Metall verfügbar war. Die Anlage wurde auf einem alten Squash Platz unter einem Football-Stadion inmitten von Chicago errichtet, und nicht an einem entlegeneren Orte, der im *Argonne Forest* außerhalb der Stadt vorbereitet worden war, so daß das Experiment ohne Verzögerungen vorangetrieben werden konnte. Fermi versicherte allen Beteiligten, daß die Kettenreaktion nicht außer Kontrolle geraten würde, wobei seine Sicherheit auf der Kenntnis beruhte, daß ein kleinerer Teil der Neutronen nicht sofort nach der Spaltung auftritt, sondern mit einer Verzögerung von bis zu einer Minute oder mehr. Wenn jetzt also nur genug Neutronen für die Selbsterhaltung der Kette vorhanden sind, dann bilden diese verzögerten Neutronen den begrenzenden Faktor, der bestimmt, wie rasch die Ketten verzweigen und wie rasch die Zahl der Neutronen anwächst. Die Zunahmerate kann dann also Minuten oder sogar Stunden betragen, so daß reichlich Zeit für ein Eingreifen gegeben ist. Ein Regulierstab, der Neutronen absorbiert, kann in die Anordnung hineingeschoben werden, oder notfalls kann ein solcher Stab mithilfe der Schwerkraft von oben in die Anlage fallengelassen werden.

Aus dem Bericht über Fermis entscheidendes Experiment, der vier Jahre später bis in die Details hinein in lebendiger Frische vorgelegt wurde, seien im folgenden einige Höhepunkte herausgegriffen.

Am 2. Dezember war alles fertig (Abb. 12). Die Anlage war errichtet worden und war lediglich durch einen Regelstab in Schach gehalten, nämlich einem Holzstab, der mit einer Cadmiumfolie umwickelt war. Um 10:37 Uhr vormittags gab Fermi das Zeichen zum Herausziehen des Stabes um ein kleines Stück. Die Meßinstrumente zeigten eine Zunahme der Neutronenzahl an, die dann aber flacher wurde. Fermi machte deutlich, daß er genau dies

Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

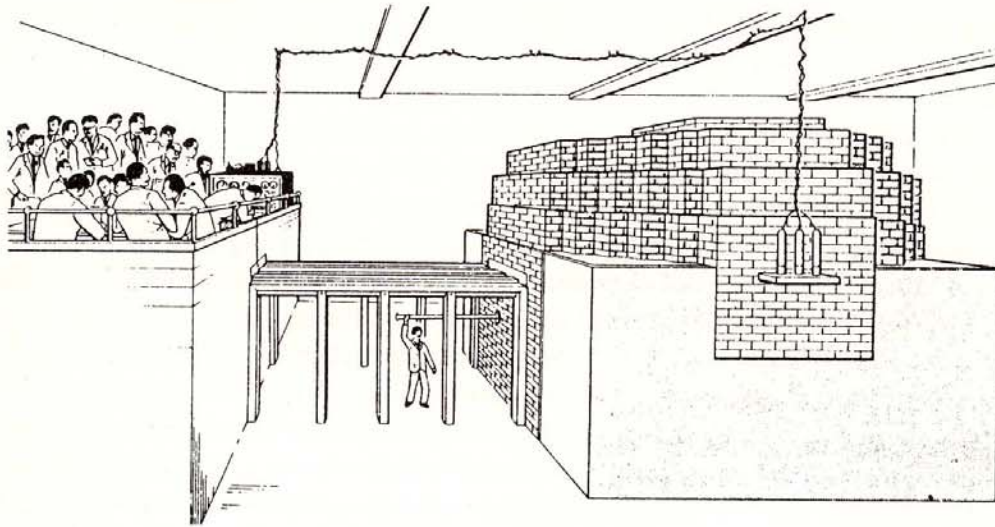


Abb. 12. CP-1, der erste Kernreaktor von Menschenhand. Der Aufbau besteht im wesentlichen aus einem Gitter von Uran und Graphit. Fermi steuerte das Experiment von der Empore aus. Der Mann am Boden zog einen Regelstab aus Cadmium schrittweise raus. Leute über dem Reaktor hielten Cadmiumsalzlösungen bereit, falls er außer Kontrolle geraten sollte

erwartet hatte. Den ganzen Tag über wurde der Stab Stück für Stück weiter herausgezogen, und jedesmal stieg die Neutronenzahl an, aber der Anstieg flachte jedesmal allmählich wieder ab. Um 3:25 Uhr nachmittags schließlich sagte Fermi „Zieh ihn noch um einen Fuß heraus. Dies wird ihn zum Laufen bringen. Jetzt wird er selbständig laufen. Die Linie wird ansteigen und immer weiter ansteigen. Sie wird nicht mehr abflachen.“ Die anwesenden Wissenschaftler und Techniker beobachteten während der folgenden achtundzwanzig Minuten den immer steileren Anstieg.

Um 3:53 Uhr nachmittags war der Beweis schlüssig und Fermi ordnete den Abbruch des Experiments an. Die Beteiligten stießen auf den Erfolg an, – in Stille und mit dem Zweifel, ob die Deutschen nicht schon als erste soweit gekommen waren.

Diese Vorführung war außerordentlich eindrucksvoll gewesen. Die anwesenden Ingenieure waren überzeugt, daß es sich hier nicht um verrückte wissenschaftliche Hirngespinnste handelte, sondern um ein Gerät, das für eine präzise Steuerung geeignet war und das zur Weiterentwicklung übernommen werden konnte. Zu diesem Eindruck trug Fermis sicheres Auftreten bei, das er trotz seines wissenschaftlich umsichtigen Charakters bewahrte.

In seinem Buch *Atomic Quest* hat Compton das Verhalten von einigen Leuten, die dabei waren, in blumenreicher Sprache aufgezeichnet. Von dem

Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

40jährigen Crawford H. Greenewald, der wenige Jahre später der Präsident des großen Unternehmens *du Pont* werden sollte, sagte er: „Seine Augen glühten. Er hatte ein Wunder gesehen.“ Im Gegensatz dazu stand Volney C. Wilson, ein junger, talentierter, nachdenklicher, idealistischer Physiker. Von ihm schreibt Compton:

„Er gehörte zu jenen, die bis zum letzten Moment aufrichtig gehofft hatten, daß sich irgendetwas ergeben könnte, was den Ablauf der Kettenreaktion unmöglich machen würde. Die zerstörerische Kraft, die sie implizierte, war für ihn so beklemmend, daß es für ihn schwer war, mit ihr zu leben . . . Aber Volney war ein guter Soldat. Er wußte, falls Atomwaffen herstellbar sind, mußten wir sicher gehen und sie unbedingt zuerst haben, . . . dennoch spiegelte sein Mienenspiel seinen inneren Konflikt wieder.“

Von sich selbst erwähnt Compton keine solchen Konflikte, kein Infragestellen der Zielrichtung des *Manhattan-Projects*.

Noch am gleichen Tag rief Compton Conant an. Um die Nachricht ohne Verletzung der Geheimhaltung durchzugeben, sagte er in den berühmt gewordenen Worten: „Jim, es wird Dich interessieren zu erfahren, daß der italienische Navigator soeben in der neuen Welt gelandet ist.“

„Ist das so?“ war Conants erregte Antwort. „Waren die Einheimischen nett zu ihm?“

„Alle landeten froh und glücklich“, antwortete Compton.

An der *University of Chicago* befindet sich zur Erinnerung an den Erfolg dieser Arbeit eine Tafel. Sie sagt schlicht

ON DECEMBER 2, 1942
MAN ACHIEVED HERE
THE FIRST SELF-SUSTAINING CHAIN REACTION
AND THEREBY INITIATED THE
CONTROLLED RELEASE OF NUCLEAR ENERGY

(Am 2. Dezember 1942 gelang hier dem Menschen erstmals die sich selbsterhaltene Kettenreaktion, womit er die gesteuerte Freisetzung von Kernenergie einleitete.)

Der Reaktor, der hier gebaut worden war und *CP-1* genannt wurde, war für Fermi ein wunderbares neues Instrument. Niemand hatte vor ihm ein solches gehabt. Alle Arten interessanter Experimente ließen sich damit rasch realisieren. Es war wie in den berausenden Tagen in Rom 1934, als die langsamen Neutronen erstmals beobachtet wurden.

Viel mußte an dem Reaktor selbst gelernt werden, Lehrstunden, die für die in Aussicht genommene große Plutoniumproduktion von unschätzbarem Wert waren. Beispielsweise konnte gezeigt werden, daß *CP-1* eine prinzipielle

Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

Sicherheit besaß: Wenn er heiß wurde, schaltete er sich selbständig ab. Er konnte auch für Eignungstests künftiger Reaktormaterialien verwendet werden, wie etwa Proben von Graphit oder Uran, und zwar einfach dadurch, daß man sie in den Reaktor gab und ihren Einfluß auf die Neutronendichte beobachtete; dies ging viel schneller als mit den bisherigen Methoden.

Nach drei Monaten wurde *CP-1* abgebaut und als *CP-2* außerhalb von Chicago in einem neuen Gebäude wieder aufgebaut. Dies war der Anfang vom *Argonne National Laboratory*, das ganz wesentlich zur Kernwissenschaft beigetragen hat.

Im Vertrauen auf den Erfolg von *CP-1* hatte die Planung für die Plutoniumproduktion schon einige Monate früher begonnen. Ebenso wie bei der Arbeit mit dem ^{235}U war dieser sich überstürzende Vorgang erforderlich, wenn das Endprodukt rechtzeitig zur Stelle sein sollte.

Die Reaktoren für die Plutoniumproduktion mußten sehr viel komplexer sein als *CP-1*. Beispielsweise würden sie eine millionenfach größere Wärmemenge produzieren, so daß sie einer Kühlung bedurften. Außerdem mußten sie Vorrichtungen besitzen, mit deren Hilfe bei Bedarf Uranproben entnommen werden können, damit sie zur Extraktion des produzierten Gehalts an Plutonium an chemische Fabriken weitergeleitet werden können. All dies verlangte den Einsatz von Bauelementen, die dann aber Neutronen absorbieren würden; zur Kompensation mußte der Reaktor entsprechend größer ausgelegt werden. Das *Met. Lab.* war als erstes in der Welt mit derartigen Problemen konfrontiert.

Im Spätsommer 1942 gab es drei konkurrierende Reaktormodelle. Das *Engineering Council* im *Met. Lab.* verfolgte eine Heliumkühlung, Wigner schlug eine Wasserkühlung vor und Szilard war ein Befürworter von flüssigem Wismut, eine etwas exotische Wahl, die aber durchaus ihre Vorteile hatte. So verschieden die drei vorgeschlagenen Kühlmittel waren, so unterschiedlich waren auch die Konstruktionsvorschläge.

Parallel zu den Reaktorarbeiten beschäftigte sich Seaborgs Team im *Met. Lab.* mit der technischen Isolierung des Plutoniums aus dem Reaktoruran. Unter Verwendung ihrer winzigen Plutoniumspuren aus dem Zyklotron entwickelten sie mehrere mögliche Trennmethode und wählten schließlich einen Vorschlag von Stanley G. Thompson aus, einem von Seaborgs Kollegen in Berkeley. (Es beruhte auf der chemischen Fällung von Wismutphosphat.)

Bis zu diesem Punkt war für die Forschung und Planung niemand besser qualifiziert als das *Met. Lab.* selbst, aber der Übergang zu großtechnischen Maßstäben war eine andere Sache. Conant beschwerte sich bei den Wissenschaftlern in Chicago, daß sie „mit Blasrohren Jagd auf Elephanten“ machen würden. Um mit diesen *Elephanten* umzugehen, war das *Manhattan-Project* im Herbst 1942 gegründet worden. Zuerst waren Groves und das Heer dazugekommen, danach große Unternehmen aus der Industrie.

Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

Der Druck von Groves brachte *du Pont* ins Spiel, die mit offenen Augen die Plutoniumproduktion übernahm. Charles Stine, einer der Vizepräsidenten, sagte seinen leitenden Mitarbeitern, daß die nationale Sicherheit vom Plutonium abhängt und er fuhr fort: „*Du Pont* sei das einzige Unternehmen, das diese Aufgabe erfüllen kann. Wir müssen es machen, selbst wenn unsere Firma daran zerbricht.“

Während sowohl Groves als auch das Heer mit geringem Widerstand vom *Met. Lab.* akzeptiert wurden, – schließlich mußte man erwarten, in Kriegszeiten das Militär überall um sich zu haben, – lehnten einige von ihnen *du Pont* zutiefst ab. Der Argwohn der geflüchteten Wissenschaftler gegenüber der Großindustrie hatte im Labor schon mit zu dem Zornausbruch gegen die Firma *Stone and Webster* beigetragen. Nun fürchtete man der vielversprechenden Zukunft im Herzen des Plutoniumprogramms beraubt zu werden.

Andererseits war es für Compton, der die Verantwortung für den Erfolg des Vorhabens trug, „ein Vergnügen, jetzt mit der ersten Mannschaft der Nation zusammenzuarbeiten.“

Du Pont mußte zunächst Pilotanlagen bauen, die einen Reaktor und eine chemische Trennanlage umfaßten, und danach die Produktionsanlagen. Das Gelände von *Oak Ridge* in Tennessee stand für die ersteren zur Verfügung, aber ein noch größeres Gelände in einem dünn besiedelten Gebiet erschien für die letzteren als notwendig. Die Suche führte im Dezember 1942 nach Hanford, im Nordwesten der USA, wo in einem Knie des Flusses Columbia 1600 km² einer Halbwüste geeignet erschienen.

Eine der ersten Entscheidungen, die *du Pont* machen mußte, war die zwischen den drei rivalisierenden Reaktoranlagen, wobei besonders Szilard an ihnen herumkritisierte, daß zuviel Zeit für diesen Entscheidungsprozeß verging. Aber es war eine schwierige Entscheidung, denn ein Fehler könnte viel Zeit kosten. Anfang 1943 trug schließlich Wigners Wasserkühlungssystem den Sieg davon. Die Anlage bestand aus einem Graphitklotz, durch den horizontale Aluminiumrohre liefen. Diese Rohre wurden mit Pfropfen aus Uranmetall in eingepaßten Aluminiumdosen ausgefüllt, und durch die engen Spalten zwischen den Innenwänden der Rohre und den Pfropfen sollte das Kühlwasser fließen. Nach einiger Zeit würde der Reaktor abgeschaltet und die Urاندosen am Ende des Rohres herausgestoßen werden, wo sie in einen tiefen Wassertank fallen und bis zur chemischen Aufarbeitung gelagert werden sollten. Das Wasser in den Tanks würde das Personal vor der Strahlung aus den Dosen schützen.

Obwohl die grundlegenden Vorstellungen über diesen Reaktortyp aus dem *Met. Lab.* stammten, wurden die technischen Details in den Zentrallabors von *du Pont* in Wilmington/Delaware ausgearbeitet. Die Hauptaktivität verschob sich rasch nach Wilmington und in die Fabrikationsgebiete Oak Ridge und Hanford. „Ob die Wissenschaftler in Chicago damit zufrieden waren

Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

oder nicht, das *Metallurgical Laboratory* war ein zwar tatkräftiges, aber dennoch klar untergeordnetes Anhängsel der *du Pont* Organisation“. Wigner empfand dies so stark, daß er sogar seinen Rücktritt anbot, aber Compton brachte ihn dazu, statt dessen einen Monat Urlaub zu machen.

In dieser kritischen Phase lebte auch der Interessengegensatz beim schweren Wasser wieder auf. Gemeinsam mit der kanadischen Regierung war 1942 entschieden worden, es in Trail in British Columbia herzustellen. Dies erfolgte u. a. auf Ureys Betreiben hin, für den Fall, daß Graphit sich für den Moderator als unbrauchbar erweisen sollte. Auch *du Pont* war lebhaft an der Anwartschaft auf einen Schwerwasserreaktor interessiert und Groves hatte sie autorisiert, drei Fabriken für schweres Wasser in den U. S. A. zu bauen.

Compton sah sich dadurch in der Lage, seinen unzufriedenen Physikern für deren Energien ein neues Auslaßventil zu geben: die Gestaltung eines Schwerwasserreaktors. Fünfzehn Kilogramm dieses wertvollen Materials trafen aus Trail im späten Frühjahr 1943 bei Fermi ein, und beim Testen war er überglücklich als er feststellte, daß es fast keine Neutronen absorbierte. Die Begeisterung wuchs rasch und Urey, der zu diesem Zeitpunkt im Hinblick auf die Uranisotopentrennung durch die Gasdiffusion recht verzagt war, sah im Schwerwasserreaktor die letzte Hoffnung für die Bombe.

Die Wissenschaftler hatten von *du Pont* inzwischen den Eindruck, daß man sich dort hilflos in der eigenen Bürokratie verheddert hatte. Sie konnten nicht verstehen, warum die Planung für den wassergekühlten Graphitreaktor so lange dauerte. Die Planungsweise von *du Pont* schien ihnen überorganisiert und zu konservativ im Hinblick auf die dringende Notwendigkeit, Plutonium so bald als möglich zur Verfügung zu stellen.

Die Lage drohte sich zu einem noch stärkeren Ausbruch zuzuspitzen. Um dieser Gefahr vorzubeugen, bat Groves eine besondere Kommission um einen Bericht, der im August 1943 vorgelegt wurde. Die Befürchtungen wurden zerstreut und ein begrenztes Schwerwasserprogramm wurde befürwortet, inklusive des Baus eines experimentellen Schwerwasserreaktors namens *CP-3* auf dem Argonnegelände vom *Met. Lab.* Aber die Hauptrichtung des Atombombenprogramms wurde nicht geändert, und der Schwerwasserreaktor gehörte nicht dazu. Abgesehen von allen anderen Umständen hätte die Herstellung größerer Mengen von schwerem Wasser zu viel Zeit gekostet.

Während dieser Stürme kamen die Chemiker in ruhigeren Gewässern gut voran. Seaborg und seine Leute teilten die Vorbehalte der Flüchtlinge gegenüber den großen Firmen nicht und kamen mit ihren Partnern bei *du Pont* von Anfang an gut zurecht. Außerdem waren ihre entsprechenden Aufgaben klar und selbstverständlich vorgegeben und die chemischen Aufgaben für das *Met. Lab.* waren neuartig und interessant. Außerdem scheint es tatsächlich so zu sein, daß Chemiker von ihrer Veranlagung her pragmatischer sind als Physiker und weniger zu Zerwürfnissen über Prinzipielles neigen.

Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

Du Pont baute die Versuchsanlagen in Oak Ridge während des Jahres 1943. Sie waren so klein und einfach wie dies zum Nachweis für den Plutoniumproduktionsprozeß sowie für die Herstellung hinreichender Mengen des neuen Elements möglich war. Der Reaktor war für die Erzeugung von einem Megawatt Wärmeenergie ausgelegt (entsprechend etwa tausend elektrischen Haushaltsheizöfen), was einer täglichen Erzeugung von etwa einem Gramm Plutonium entsprach. Verbesserungen steigerten diese Raten später um ein Mehrfaches.

Die Erzeugung von einem Megawatt Wärme in der gesamten Anlage bedeutete eine nur relativ geringe Erwärmung, so daß Luft statt Wasser für die Kühlung verwendet werden konnte. Die Probleme mit der Korrosion und der Wärmeleitung, die in den großen wassergekühlten Reaktoren in Hanford groß sein würden, waren hier relativ einfach zu bewältigen, obwohl sich das Eindosen der Uranpfropfen in den Aluminiumhüllen als verwickelt erwies.

Der Oak Ridge Reaktor wurde am 4. November 1943 in Betrieb genommen und lief von Anfang an erfolgreich und problemlos. Nach einigen Betriebswochen wurden die ersten Uranpfropfen entnommen und am 20. Dezember in die chemische Fabrik überführt.

Diese Fabrik war anders als alle zuvor gebauten, denn man mußte dort mit einer beispiellos großen Strahlenintensität umgehen. Dicke Abschirmwände waren erforderlich und die Chemie mußte von den Außenseiten her betrieben werden. Im Prinzip bestand die Anlage aus einer *Schlucht*, einer Zeile von sechs schweren Betonkammern, die zu $\frac{2}{3}$ im Boden versenkt waren. In jeder Kammer wurde eine Verfahrensstufe ausgeführt und das Material danach in die nächste Kammer überführt. Alles mußte mit Fernbedienung ausgeführt werden. Zum Schluß wurde hinreichend reines Plutonium zur weiteren Behandlung in normalen Laboratorien erhalten, aber auch dort gab es strenge Sicherheitsvorkehrungen gegen die Aufnahme in den Körper. Trotz der absoluten Novität der Technologie sowie des Umstandes, daß die Chemie an mikroskopisch kleinen Proben ausgeführt werden mußte, war die chemische Fabrik ebenso erfolgreich wie der luftgekühlte Reaktor. Bis zum März 1944 waren einige Gramm Plutonium hergestellt worden.

Die Einrichtungen von Oak Ridge lieferten die Kenntnisse und Erfahrungen für die Großanlagen in Hanford. Der für dort ursprünglich vorgesehene Bau von sechs Reaktoren und acht chemischen Trennanlagen wurde später auf je drei reduziert. Im Vergleich zu dem einen Megawatt in Oak Ridge waren diese Reaktoren für eine Leistung von je zweihundert Megawatt geplant und benötigten Wasserkühlung. Außerdem gab es in Hanford eine Fabrik für die Herstellung der Uranpfropfen. Aus Sicherheitsgründen lagen die Fabriken viele Kilometer voneinander entfernt.

Die Vor- und Bauarbeiten im Hanford-Gelände begannen im Sommer 1943, wurden im ganzen Jahr 1944 fortgeführt und dauerten bis 1945. Unter

Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

der wirkungsvollen Organisation des Heeres und der Firma *du Pont* kamen die Arbeiten unaufhaltsam voran. Es handelte sich um ein ungeheuer großes Vorhaben; zu einer bestimmten Zeit lebten nicht weniger als 55 000 Leute in Baracken und Wohnwagen auf der Baustelle. Die Tafel 12 zeigt einen kleinen Ausschnitt dieses Geländes während der Bauperiode.

Es gab viele technische Probleme, die der Mithilfe des *Met. Lab.* bedurften, nicht zuletzt das Eindosen der Uranpfropfen. Dieses Problem war hier schwieriger als in Oak Ridge, weil die Dosen dem Wasser statt der Luft standhalten und einen viel größeren Wärmetransport zum Kühlmittel erlauben mußten. Man befürchtete auch, daß eine einzige fehlerhafte Dose einen ganzen Reaktor betriebsunfähig machen könnte. Henry S. Smyth erinnert sich, daß er bei seinen regelmäßigen Besuchen in Chicago „aus der Atmosphäre der Melancholie oder der Freude, die er in den Labors vorfand, in etwa den Fortschritt des Dosenproblems erkennen konnte“. Die Frage wurde für den ersten Hanford-Reaktor gerade noch rechtzeitig gelöst. Am 13. September 1944 zogen die Bauarbeiter aus und das Bedienungspersonal ein, um die Pfropfen in den ersten Reaktor einzuschieben. Wie annähernd zwei Jahre zuvor in Chicago hatte Fermi wieder die Leitung. In den ersten Tagen lief alles programmgemäß; der Reaktor verhielt sich beim Einschieben der Pfropfen und Herausziehen der Regelstäbe bemerkenswert genau an die Berechnung. Um 2 Uhr nachts wurde am 27. September die höchste bis dahin überhaupt erzielte Leistung erreicht.

Eine Stunde später sackte die Leistung aus einem unerklärlichen Grunde und zur Verwunderung des Bedienungspersonals etwas ab. Diese Abnahme setzte sich den ganzen Tag über weiter fort und um 18,30 Uhr hatte sich der Reaktor von allein abgeschaltet. Am nächsten Tag hatte er sich zwar wieder erholt, aber als die Leistung erhöht wurde, schaltete er sich wieder ab. Ein derartiger Vorgang war weder in Chicago noch in Oak Ridge beobachtet worden.

Die Erklärung für diesen beunruhigenden, neuen Vorgang wurde überraschend schnell gefunden. Die Physiker hatten bereits darüber nachgedacht, welchen Einfluß die große Anzahl von Spaltprodukten auf den Neutronenhaushalt der Anlage haben könnte und dabei erwartet, daß das Auftreten eines starken Neutronenabsorbbers die Neutronenkettenreaktion beeinflussen könnte. Mit dieser Idee im Hinterkopf analysierten sie also jetzt das Verhalten des Hanford-Reaktors. Entscheidend war dabei die Tatsache, daß sich der Reaktor wieder erholt, was darauf hinwies, daß eine eventuell verantwortliche, Neutronen absorbierende Spezies nach etwa einem Tag wieder verschwunden sein mußte. Eine Durchsicht der Informationen über radioaktive Zerfallsprodukte führte zum Xenonisotop 135, dessen Halbwertszeit 9,5 Stunden beträgt, was genau der Zeit entsprach, in der sich der Reaktor wieder erholt.

Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

Diese Erkenntnis wurde in nur zwei Tagen gewonnen. Greenewalt (von *du Pont*) gab die Nachricht aus Hanford telephonisch zum *Met. Lab.* gerade zu der Zeit durch, als man sich dort zum Heimgehen anschickte. Der für *Argonne* verantwortliche Walter H. Zinn hielt seine Wissenschaftler zurück, damit sie den Hanford-Effekt am eigenen *CP-3* Reaktor reproduzierten. Als sie ihn bei hoher Leistung längere Zeiten laufen ließen, konnten sie die Beobachtungen von Hanford bestätigen. Damit war *CP-3*, – der ursprünglich mindestens zum Teil auch wegen des Streits der Chicagoer Physiker gebaut worden war, – auch für das eigentliche Projekt noch von Nutzen.

Während die Diagnose Sache der Physiker war, lag die Entscheidung für die Therapie trotz der zähneknirschenden Wissenschaftler bei den Technikern von *du Pont*. Mit einer Vorsicht, die aus Industrieerfahrungen geboren war, hatten sie „für den Fall der Fälle“ auf einer viel größeren Dimensionierung der Hanford-Reaktoren bestanden als rational gerechtfertigt gewesen war. Es gab deshalb Platz für noch viel mehr Uranpfropfen und genau das brauchte man jetzt, um der Xenonvergiftung entgegenzuwirken. Also löste sich die Krise ebenso rasch wie sie gekommen war.

Trotzdem bedeuteten die Untersuchung und Überwindung dieser Krise eine Zeitverzögerung. Die Wiederaufnahme des Reaktorbetriebes bei voller Leistung stellte ein schwierigeres Geschäft als erwartet dar, das bis zum Jahreswechsel andauerte. In dieser Zeit lief dann auch der zweite Reaktor, und der dritte stand nicht weit zurück.

Die erste der chemischen Großanlagen war in etwa gerade fertig geworden, als die ersten Pfropfen dem Reaktor zur Weiterverarbeitung entnommen worden waren. Sie war der Pilot-Anlage nachgebaut worden, nur viel umfangreicher. Von außen sah sie wie ein 250 Meter langer Betonklotz aus. Innen standen vierzig große Betonkammern in einer Reihe und entlang der ganzen Wände des Gebäudes verliefen Galerien für die Bedienung. Die Anlage selbst war ein Labyrinth von Behältern, Zentrifugen, Rohren etc., die aus einer besonderen Art von rostfreiem Stahl hergestellt worden waren. Ebenso wie in Oak Ridge mußten alle Stufen des Verfahrens von Fernsteuerungspulten aus hinter den Betonwänden ausgeführt werden. Allein die Schulung des Bedienungspersonals für eine derartig ungewöhnliche Anlage war eine gigantische Aufgabe gewesen.

Nach seiner Extraktion wurde das Plutonium zur endgültigen Reinigung und zur Überführung in einen für den Transport geeigneten Zustand (festes Plutoniumnitrat) in zwei kleinere Gebäude geleitet. Noch vor Ende Januar 1945 fing das neue Element an, in wachsenden Mengen aus den Herstellungsgebäuden zu fließen. Bis zum Sommer 1945 waren einige Kilogramm hergestellt worden, also genug für eine Versuchsexplosion und für die Bombe von Nagasaki.

Kernsprengstoffe II: Produktion des Plutoniums

Im Herbst 1942 hatte *du Pont* seinen Auftrag übernommen. Kaum mehr als ein Jahr später funktionierte die von ihnen gebaute Pilotanlage in Oak Ridge und produzierte Plutonium, und wiederum kaum mehr als ein Jahr später war die große Anlage in Hanford bereit. Ein nach allen Regeln bewundernswürdiges Tempo. Unter Berücksichtigung der Neuartigkeit der Technologie, des Ausmaß der Arbeiten und der kriegsbedingten Engpässe, war es phantastisch.