
Die nuklearen Tests

im Laufe des zwanzigsten Jahrhunderts

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Einführung: kurze Übersicht der Zeitspanne 1940-2000	3
Die Zweideutigkeit der nuklearen Waffen und Tests	
Übersicht über die nuklearen Tests	
Am Anfang war das Atom... ..	5
Die erste Detonation: Geburt des nuklearen Zeitalters	6
Hiroshima und Nagasaki	7
Beginn des Atomrüstungswettlaufes	8
Auf dem Weg der Fusion: die 50-er Jahre	8
Ende des kalten Krieges und Entspannung	9
<i>Star Wars</i> vs. der » <i>Comprehensive Test Ban Treaty</i> «	11
Die heutigen Spannungen	12
Schlusswort	12
Bibliografie & Referenzen	13

Anlage A:	Zahlenangaben über die nuklearen Tests
Anlage B:	Bombentypen

Vorwort

Man soll sich fragen, was das eigentliche Ziel einer Waffe ist, wie immer geartet sie auch sein mag. Die Überlegenheit im Fall eines Kampfes? Vielleicht ist das Ziel der Waffen bei gewissen Geistern direkt der Kampf — möglichst der Sieg? Oder eben das Vermeiden des Kampfes, indem man dem Feind zeigt, dass man mächtiger ist als er? Diese Frage wird wichtiger und findet mehr Sinn, wenn es sich um mächtigere Waffen handelt — umso mehr mit Atomwaffen.

Man stellt sich auch andere Fragen: darf man, ethisch betrachtet, ganz allgemein von »den Waffen« sprechen? Darf man verallgemeinern und sagen, dass, was für eine Waffe gilt, auch für die anderen gilt, wenn man weiß, dass dieser Begriff so viele verschiedenartige Verteidigungs- und Angriffsmittel umfasst — auch jene, die die ganze Erde zerstören könnten? Und wie geht es mit Atomwaffen überhaupt: wie soll man mit ihnen umgehen, inwieweit darf man sie ausdenken, testen und benutzen?

Dieses Papier versucht nicht, eine klare Antwort zu geben, sondern einige Elemente, Fakten und Ereignisse zu bringen, die besser erlauben, sich eine Meinung zu bilden.

Einführung: kurze Übersicht der Zeitspanne 1940 bis heute

Nach den tragischen Ereignissen in Hiroshima und Nagasaki, die die Geister so stark gezeichnet haben, begannen eine gewisse Anzahl Länder, allerlei Atombomben zu entwickeln und zu prüfen. Was wollten eigentlich dadurch die Länder? Eine mächtige Militärmacht aufbauen, die Bomben tatsächlich einmal fallen lassen? Vielleicht war es nur eine Art Wettbewerb: wer wird seinen Nachbarn am Meisten beeindrucken; wer wird von den anderen als der Mächtigste betrachtet werden.

Die Zweideutigkeit der nuklearen Waffen und Tests

In der Tat ging es natürlich nicht bloß darum, wer als erster die Kernphysik beherrschen und wirklich an Ort und Stelle anwenden würde. Im Allgemeinen kann man sagen, dass diese Atombomben keine einzige Rolle spielten. Sie dienten gleichzeitig als Abschreckungselement für die Nationen, die feindliche Absichten hatten, und als eindrucksvolle und sicherlich entscheidende Waffe bei einem eventuellen Angriff. Nicht nur als Abschreckungselement, aber auch als drohende Gefahr, als Damoklesschwert für die Länder, die nicht ganz an der Spitze der Technologie waren — was zu einem weltweiten Wettlaufrüstungen führte: jenes Land würde natürlich nicht seinen Nachbarn angreifen, weil es ja weiß, dass er die Atombombe besitzt, und umgekehrt.

Gut: die Bomben wurden hauptsächlich entwickelt, um weitere Weltkriege zu vermeiden.

Die Realität ist auch nicht so einfach: es ging natürlich nicht nur um Prestige und Ehre, sich mit der Bombe stark zu fühlen. Zwischen 1950 und 1963 sind auch die meisten Tests durchgeführt worden. So was! Der kalte Krieg hat von 1947-48 bis 1962-63 gedauert. Dieses Element ist es wert, dass man es etwas näher betrachtet.

Während der 15 Jahre des kalten Krieges hat man ständig befürchtet, dass ein dritter Weltkrieg ausbricht. Die damalige politische Atmosphäre übte eine große Spannung auf die Aufrüstung der verwickelten Länder aus — hauptsächlich die USA und die UdSSR, und ihre jeweiligen Alliierten — und das hat der Ausrüstung, und daher auch allen Arten der Forschung, die die Ausrüstung verbessern konnten, einen riesigen Aufschwung gegeben. Das heißt hauptsächlich: die nukleare Forschung und die Eroberung des Weltraums — eine Rakete kann auch eine Atombombe transportieren... Die technologischen Vorsprünge des einen wirkten als Druck auf den anderen, und umgekehrt. Und als Ergebnis: eine rasche Entwicklung von mächtigen und zerstörerischen Bomben. 1949 hat die UdSSR ihre ersten nukleare Tests durchgeführt. Seitdem hat man gewusst, dass wenn ein Krieg zwischen den zwei Hauptmächten ausbrechen würde, würde er in einen nuklearen Krieg ausarten, was wohl das Ende der Menschheit hätte bedeuten können. Aber die Tatsache, dass die Russen auch die Bombe besaßen, hat sicherlich auch die USA davon abgebracht, hier und da eine ihrer Bomben anzuwenden, und zwar aus Furcht vor einem Gegenstoß. Das bekannteste Beispiel ist beim Koreakrieg.

Genau wie die Bomben hatten (und haben noch für einige Länder) die nuklearen Tests keine einfache und einzige Bedeutung: erstens, waren sie aus rein technischen Absichten nützlich: man will ja wissen, wie die erbaute Waffe reagiert, wie mächtig sie ist, was für Schaden sie bewirkt usw.; zweitens, und ohne Zweifel so wichtig wenn nicht wichtiger als der erste Punkt, man will durch die Tests allen und sich selber zeigen, wozu man befähigt ist, wie stark man im Falle eines Angriffs reagieren kann usw.

Wenn es nur um Spielzeuge ginge, wären diese Erwägungen keine besorgniserregenden Fragen. Aber wenn man von Waffen spricht, die die ganze Menschheit vernichten können, muss man Rücksicht darauf nehmen und sich fragen, ob der Mensch in seinem aktuellen Zustand überhaupt befähigt ist, mit solchen Dingen umzugehen.

Die Bomben haben also mindestens zwei entgegengesetzte Zwecke: einerseits sie sind Kriegswaffen, und andererseits durch ihre Entwicklung versucht man, den Krieg zu vermeiden. Der Physiker Carl Friedrich von Weizsäcker sagte: »*Die Bomben erfüllen ihren Zweck nur dann, wenn sie nie fallen. Aber wenn jedermann weiß, das sie nie fallen werden, erfüllen sie ihren Zweck nicht...*«.

Nachdem die ganze Welt und die gesamte Menschheit Zeuge davon gewesen sind, wie kräftig und heftig die Explosionen von Hiroshima und Nagasaki gewesen waren, begannen einige Länder, wie die USA es schon gemacht hatten, sich an die Nukleartechnologie zu wenden, und ihre nukleare Waffen zu entwickeln und zu prüfen. Diese Technologie ist mit der Zeit immer feiner geworden, und die konzipierten Waffen bzw. Bomben wurden dementsprechend immer destruktiver. Man begann auch, sie gezielter auszudenken: einige wurden optimiert, damit sie speziell alle elektronischen Anlagen zerstören, um dem Feind die Kommunikationsmittel zu vernichten; oder damit der Menschenverlust am Größten ist.



Die aktivsten Zeitspannen, während deren nukleare Tests durchgeführt wurden, sind die 50-er Jahre und die Jahre 61-62, als die USA 217, England 33 und die UdSSR 219 Tests durchführten. Diese drei Länder haben alle atmosphärischen, Weltraum- und Unterwasser-Tests mit dem 1963 am Ende des kalten Krieges in Kraft eingetretenen »*Limited Test Ban Treaty*« (LTBT — auch »*Partial Test Ban Treaty*« genannt) beendet. China und Frankreich haben weniger häufig solche Tests durchgeführt: 50 Tests für Frankreich zwischen 1960 und 1974, 22 für China zwischen 1964 und 1980. Im Jahre 1980 ist also der letzte atmosphärische Test von China durchgeführt worden.

Diese fünf Länder haben auch unterirdische Tests durchgeführt, und obwohl die Sprengstoffbelastung bei diesem Testtyp geringer war, sind diese Tests zahlreicher gewesen. Neulich — 1998 — haben auch Indien und Pakistan unterirdische Tests durchgeführt. Es wird jetzt angenommen, dass alle Länder ihre nukleare Tests beendet haben; ein Vertrag, der »*Comprehensive Test Ban Treaty*« (CTBT), um diese Tests zu verbieten, ist auch (mit Mühe) vereinbart worden, aber noch nicht in Kraft getreten und noch nicht von allen Nationen ratifiziert worden. Link: <http://www.dannen.com/ae-fdr.html>

Insgesamt sind 730 Explosionen und 2419 Tests von 1945 bis 1998 erfolgt. Im Begriff »Test« werden auch so genannte Sicherheitstests (wobei man keine Explosion auslöst, aber prüft, wie die alten Atomwaffen heute auf das Feuer oder in kritischen Situation wie zum Beispiel Verformung der Waffe reagieren) und unterkritische Tests (wobei eine Kettenreaktion nie erfolgen kann wegen der unterkritischen Masse) einbegriffen. Die Abbildung 3 gibt einen Überblick der nuklearen Explosionen und zeigt, welche Länder die Atombombe heute besitzen (in der Anlage A findet man statistische Daten über wie viele, wer und wo sie durchgeführt hat).

Am Anfang war das Atom...

Oder früher noch war es nur Energie, die sich beim Big Bang in Materie nach Einsteins Formel $E=mc^2$ umgewandelt hat. Jedenfalls ist das Atom lange als der kleinste, unspaltbare Baustein der Materie betrachtet worden. Als Henri Becquerel 1896 die natürliche Radioaktivität entdeckte, wurde dieser Begriff zum ersten Mal wieder in Frage gestellt: das Atom konnte nicht mehr als unveränderlich angesehen werden, denn man hat entdeckt, dass die durch Radioaktivität emittierten Teilchen aus dem Atomkern kommen. 1932 beweist James Chadwick (England, 1891-1974) die Existenz von Neutronen und bestimmt ihre Masse, und schon 1933 sagte Leo Szilard (1898-1964), ein ungarischer Physiker, der aus dem nazistischen Deutschland nach London geflohen war: »*wenn wir ein Element fänden, das unter Bombardierung von Neutronen sich spalten und mindestens zwei Neutronen emittieren würde, könnte dieses Element eine nukleare Kettenreaktion unterstützen*«. 1934 hat Enrico



Abb. 2
Leo Szilard

Fermi (1901-1954) aus Italien Uran mit Neutronen bestrahlt. Er glaubte, das erste transurane Element hergestellt zu haben; eigentlich hatte er eben die erste nukleare Spaltung ausgelöst. Otto Hahn (1897-1968) und Fritz Straßmann (Deutschland, 1902-1980) sind 1938 die ersten, die gezeigt haben, dass ein ^{235}U -Kern mit einem Neutron spaltbar war. Lise Meitner (Österreich, 1878-1968) und Frédéric Joliot (Frankreich, 1900-1958) bewiesen, dass die Reaktion nicht nur hoch energetisch war, aber gleich zwei oder meistens drei andere Neutronen emittierte. Die am meisten auftretenden Ausgangskerne wurden als Krypton (ein Edelgas) und Barium (ein ziemlich weiches Metall der Familie der Erdalkalimetalle) erkannt. Die erste experimentelle Spaltung hat am 25. Januar 1939 an der *Columbia University* stattgefunden.

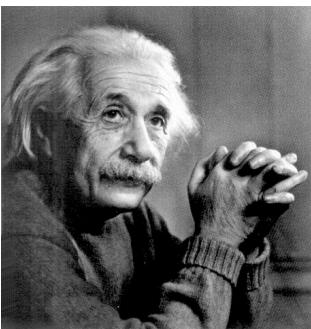


Abb. 4 Albert Einstein

Während der sechs nächsten Monaten passierte fast nichts. Die meisten amerikanischen Physiker hatten große Zweifel, dass das Bauen einer Uranbombe realistisch war; die Zeitungen besprachen öffentlich dieses Thema, ohne dass dabei etwas Klares herauskam. Szilard dachte trotzdem, dass man tatsächlich solche Bomben konstruieren könnte und war verärgert, dass nichts Konkretes passierte: es gab auch damals kein offizielles nukleares Projekt. Übrigens hatte Deutschland aufgehört, das tschechische Uran zu verkaufen. (Es ist vielleicht dank der amerikanischen Apathie gegenüber der Nukleartechnologie während dieser Jahre, dass keine Atombombe auf Europa gefallen ist...) Szilard, »der Wissenschaftler mit Gewissen«, wendete sich an seinen alten Freund Einstein, damit er einen Brief an



Abb. 3
Enrico Fermi

Präsidenten Roosevelt schreibt. In diesem Brief erklärt er ihm, dass Uran »*eine neue und wichtige Energiequelle werden könnte, und zwar in der nächsten Zukunft*«. Er erwähnt auch die deutsche Gefahr, dass sie vielleicht die Bombe schneller als die Vereinigten Staaten bauen könnten. Das führte zur Bildung des Urankomitees, »*Committee on Uranium*«, und zum Manhattan Projekt etwas mehr als zwei Jahre später — was das erste Unterfangen um

die Nukleartechnologie großen Umfangs war. Schon damals, bevor man sicher war, dass eine Spaltungsbombe tatsächlich machbar war, dachte Fermi an eine Fusionsbombe: »*Es könnte wohl möglich sein, dass eine Spaltungsbombe Deuterium genügend erwärmt, um eine thermonukleare Reaktion zu auszulösen*«. In fast drei Jahren gelang es den Wissenschaftlern unter der Leitung von Fermi, den ersten Spaltungsreaktor mit Graphit als Moderator 1942 und die erste Atombombe 1945 unter der Supervision von Oppenheimer (USA, 1904-1967) zu bauen. Niels Bohr (Dänemark, 1885-1962), Richard Feynman (USA, 1918-1988), sind einige der Hunderte von Wissenschaftlern, die in den berühmten Los Alamos Laboratorien an der Atombombe gearbeitet haben. Einige Militärs, wie General Leslie Groves, haben auch eine bedeutende Rolle gespielt, indem sie nicht direkt mit der Kerntechnologie zu tun hatten, sondern dafür sorgten, dass alle wissenschaftlichen Entdeckungen streng geheim bleiben. Durch Bombardierung von Uran hatte man in den Reaktoren Neptunium geschaffen, das durch eine β -Strahlung in ^{239}Pu zerfällt, das auch ein leicht spaltbarer Stoff ist. Ein zweiter (Clinton, Tennessee), dann mehrere andere Reaktoren wurden gebaut, um ^{239}Pu herzustellen. Nach der Hiroshima-Bombardierung bedauerte Einstein bitter: »*Ich könnte mir die Finger verbrennen, dass ich diesen Brief schrieb*«.

Die erste Detonation: Geburt des nuklearen Zeitalters

Am 16. Juli 1945 um 5:29 Uhr morgens explodierte die erste Atombombe der Welt in Alamogordo, New Mexico. Codename: *Trinity*. Bombenname: *Gadget*. Es war eine Plutoniumbombe mit einer ^{239}Pu -Ladung von etwa 6 kg, deren Ertrag auf 19 bis 23 kt (nach den verschiedenen Quellen) geschätzt wurde.

Aus der Videoarchiv (<http://www.nuclearfiles.org/revideos/filmindex1.html>) kann man vier Videosequenzen finden, die die Explosion zeigen. Wie man es sehen kann, ist die Bombe auf einen 30 Meter hohen Turm aufgehoben worden. Es ist keine Bombe im eigentlichen Sinn, was man da zusammengebastelt hat, es ist eine riesige Apparatur, in deren Herz das Plutonium sitzt. Es ist besonders interessant zu sehen, dass die keine offensichtlichen Vorsichtsmaßnahmen zu beachten scheinen: sie sind nicht einmal geschützt.

Das Kommentar ist auch etwas komisch: man sagt uns in munterem Ton, dass heute das nukleare Testprogramm zu den hochentwickelten Atomwaffen von heute geführt hat, ohne irgendeine Betrachtung der Ethik dieser Tests.

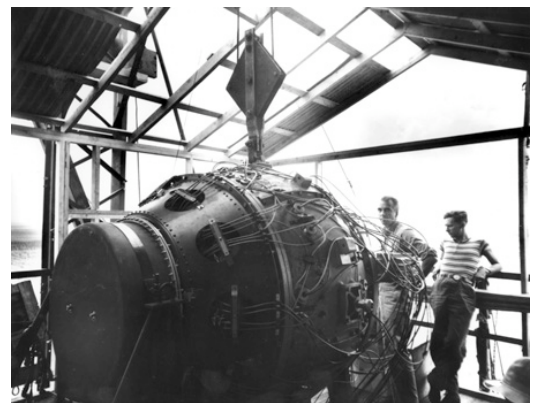


Abb. 5 Die Trinity-Bombe

Der Trinity-Test war für die Physiker und Wissenschaftler von Los Alamos besonders interessant, denn er zeigte zum ersten Mal, dass eine Atombombe nicht nur tatsächlich machbar war, sondern auch wirklich mächtig und destruktiv ist — eigentlich viel mehr als man es erwartet hatte. Man kann drei Etappen bei der Explosion unterscheiden: das intensive Glühen und den Feuerball; das Wachstum des berühmten Atompilzes; die Erscheinung der Rauchwolke. Hier ist ein Auszug aus dem Bericht, den Fermi nach der Explosion machte (der zuerst wie alle anderen Berichte geheim gehalten worden war!). *Link: <http://www.nuclearfiles.org/redocuments/docs-trinity.html>*.

Ich stand beim Base Camp, ca. 10 Meilen [16km] von der Explosionslage. Mein Gesicht war mit einem großen Brett geschützt, in dem ein Teil schwarzen Glas eingeführt worden war. Mein erster Eindruck war ein sehr intensiver Lichtblitz, und ein Gefühl von Hitze, überall wo mein Körper nicht geschützt war. Obwohl ich nicht direkt zur Explosion blickte, habe ich gemerkt, dass die ganze Landschaft heller wurde, und zwar noch heller als beim üblichen Tageslicht. Ich habe dann zur Explosion geschaut und ich konnte etwas sehen, das wie ein Konglomerat von steigenden Flammen aussah. Nach einigen Sekunden haben die Flammen ihre Helligkeit allmählich verloren und schienen als eine riesige Rauchsäule mit einem gigantischen „Kopf“ in der Form eines Pilzes, der wohl mehr als zehn tausend Meter Höhe erreichte. [...] Etwa 40 Sekunden nach der Explosion erreichte mich die Druckwelle. [...] Ich habe es auf ungefähr 10 Tonnen TNT geschätzt. [...]

Im Netz (<http://www.nuclearfiles.org/redocuments/1945/450718-groves-trinity.html>) kann man den kompletten Bericht über den Trinity-Test finden, den General Groves schrieb. Lange ist er »*top secret*« geblieben. Hier sind einige Auszüge:

Dieses Experiment war noch erfolgreicher als die optimistischsten Meinungen. [...]

Das aus der Explosion kommende Licht wurde klar von Albuquerque, Santa Fe, Silver City usw. gesehen, d.h. etwa 180 Meilen [ca. 290km] von der Explosionslage entfernt. Der Knall wurde manchmal auch bis dahin gehört aber sonst bis 100 Meilen [160km]. Zwei weitere Explosionen haben in der steigenden Rauchwolke kurz nach der Detonation stattgefunden. Diese Wolke beinhaltete mehrere Tausende von Tonnen Splitt aus dem Boden und eine beträchtliche Menge von gasförmigem Eisen. Riesige Konzentrierungen von radioaktiven Stoffen waren in der Wolke. [...]

Der Bericht geht weiter. Andere Berichte erwähnen die hohe radioaktive Aktivität in der Gegend. Bei einem von der Explosion 30 km entfernten Haus war nach einigen Tagen die Lage so kritisch, dass Soldaten gesendet wurden, um die da lebenden Leute zu fragen, wie sie sich fühlen. Ihre Antwort steht aber nicht im Bericht... Jedenfalls kann man mit einigen angegebenen Werten, die erwähnt werden, ausschließen, dass es ihnen gut geht. Einige Beobachter (alle Soldaten oder Wissenschaftler, nach den Berichten) haben eine so große Menge Strahlung absorbiert, dass es sie hätte töten können, wenn sie noch bei zwei weiteren solchen Tests im selben Monat dabei gewesen wären. Man muss auch wissen, dass eine solche Bombe in 400 Meter Abstand Autos durch die extrem hohe Hitze verdampfen lässt, und in 800 Meter Distanz noch schmelzen. Der Sand um den Explosionsort hatte sich in Glas umgewandelt! Der weitaus größte Teil, der bei einer solchen Explosion freiwerdenden Energie geht in die Druckwelle und in die Hitzestrahlung. Diese Bombe stellte damals die höchste Energiemenge dar, die der Mensch künstlich freisetzen konnte.

Hiroshima und Nagasaki

Am 6. August 1945 wird Hiroshima durch *Little Boy*, eine 15 kt Uranbombe, zerstört. 100000 Menschen werden getötet, mindestens eben so viele werden innerhalb der fünf nächsten Jahre an den Folgen der Bombe sterben. Drei Tage später kommt ein amerikanisches Flugzeug über das zweite japanische Ziel, Kokura. Die Bombe fiel jedoch nicht: diese Stadt war mit Dunst und Rauch bedeckt: Folge eines amerikanischen Überraschungsangriffs gegen eine Stadt in der Gegend. Man wollte die Wirkungen der Bombe beobachten können; aus den anderen möglichen Zielen, nämlich Niigata und Nagasaki, wurde die letzte Stadt gewählt. Eine Stunde später wird Nagasaki durch *Fat Man*, eine 20 kt Plutoniumbombe, die insgesamt ca. 140000 Opfer machte, zerstört. USA-Präsident Truman erklärte begeistert: » *This is the greatest day in history!*«.

Der Krieg in Europa war seit Mai zu Ende, Hitler hatte Selbstmord begangen, Roosevelt war gestorben und Truman war zum Präsidenten gewählt worden. Wenn Roosevelt anfangs kein leidenschaftlicher Befürworter der Nukleartechnologie gewesen war, war Truman mehr damit befreundet. Mit dem Beginn des kalten Krieges und den Spannungen zwischen den USA und der UdSSR, mit der Wahl von Truman, mit der erfolgreichen Trinity und mit Hiroshima und Nagasaki ist das nukleare Zeitalter geboren, ein Produkt aus Furcht, Gewalt und Leiden; eine Erbe des zweiten Weltkrieges.

Es ist besonders grausam zu sehen, dass das Leben mehrerer Hunderttausenden von Menschen und Zivilisten vom Willen von ein paar Menschen abhängen kann. In Dokumenten darüber kann man lesen:

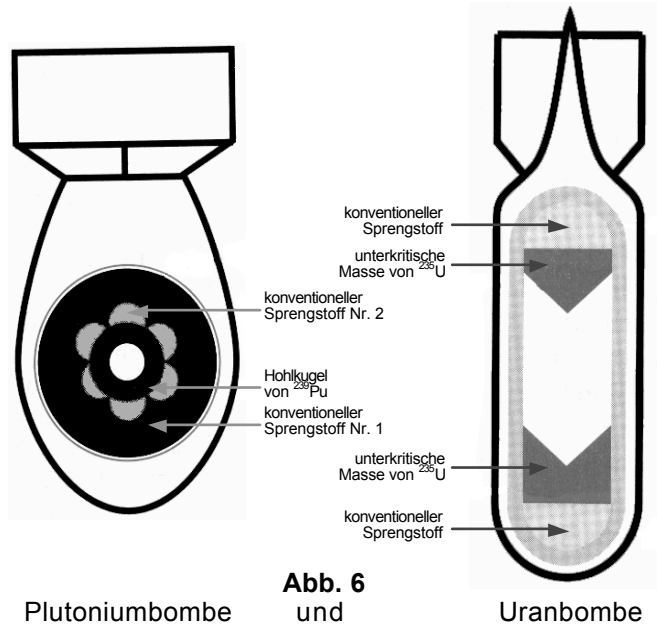
27. April. — Das Zielkomitee trifft sich zum ersten Mal um zu entscheiden, auf welche japanische Stadt mit der Atombombe zu zielen ist. Vor Ende Mai werden die folgenden Städte ausgewählt: Kyoto, Hiroshima, Kokura und Niigata. Schließlich wurde Kyoto von Nagasaki ersetzt und diesen Städten werden weitere konventionelle Bombardierungen erspart.

Natürlich musste man entscheiden, auf welche Stadt man die Bombe fallen lassen soll. Aber die Tatsache, dass eine Handvoll von Männern das Schicksal von ganzen Städten bestimmen können, flößt Ekel ein. Jede ähnliche Lage würde bestimmt ein Mensch als unerträglich empfinden. Man fühlt irgendwie ein Paradox: auf der einen Seite benutzt der hoch intelligente Mensch die meist entwickelten Technologien, die er glaubt zu beherrschen, um seinen primitivsten Trieben nachzugeben.

Es wird noch schrecklicher, wenn man versucht zu wissen, warum diesen Städten weitere konventionelle Bombardierungen erspart werden: um die konventionellen Bomben zu sparen? Um besser zu sehen, wie die Atombombe auf die gezielten Städte wirkt (was tatsächlich ein Grund war, die Bombe auf Nagasaki fallen zu lassen!)? Man kann sich ja in jeder Kriegssituation empören; diese zwei Atombomben sind vielleicht das unwürdigste Beispiel des Durstes nach Macht des Menschen.

Andererseits kann man sich auch fragen, was passiert wäre, wenn die Bomben nicht gefallen wären. Vielleicht hätte der Krieg mit Japan noch viel länger dauern können und mehr Opfer gebracht. Das ist auch möglich. Auf

jeden Fall darf man Zweifel darüber haben, wenn man weiß, dass amerikanische Wissenschaftler 1945 Plutonium Patienten oder Gefangenen injiziert haben, um dessen Toxizität zu bestimmen, ohne dass die Patienten es einmal wussten! » *Science sans conscience n'est que ruine de l'âme*« (Rabelais, *Pantagruel* — Wissenschaft ohne Gewissen ist nur Zerwürfnis der Seele)!



Hier ist das Ergebnis von wissenschaftlicher Forschung und barbarischem Denken: die Plutoniumbombe basierte auf der Implosionstechnik: der spaltbare Stoff kommt in der Form einer Hohlkugel (man muss daran denken, dass die kritische Masse ganz eng von der Form abhängig ist) und wird bei der Explosion vom umgebenen konventionellen Sprengstoff gepresst. Durch die Formänderung wird die Kugel kritisch. Mit Uran, das leichter als Plutonium zu handeln ist, hat man eine andere, einfachere Methode benutzt: zwei oder mehrere unterkritische Massen sind getrennt, und wenn die Explosion stattfinden soll, werden sie von einem Sprengstoff zusammengestoßen.

Beginn des Atomrüstungswettlaufes

Vor dem Ende des zweiten Weltkrieges hat man gewusst, dass Deutschland keine Bombe bauen konnte, weder kurz- noch mittelfristig. Die deutschen Physiker hatten mehr als drei Jahre Verspätung im Studieren des Urans, und sie hätten sicherlich drei weitere Jahre gebraucht, um Uran mit ^{235}U anreichern zu können. Doch die treibende Kraft bei der amerikanischen Bombenentwicklung war die Furcht gewesen, Hitler könne früher als die Alliierten in den Besitz der Atombombe kommen. Was danach die USA ebenso wie die UdSSR zum Atomwettlauf angespornt hat, sind die damals wachsenden Spannungen zwischen den beiden Großmächten. Schon im November 1945 wird vermutet, dass die UdSSR sich in die nukleare Forschung stürzte; ein Ort, nicht weit von dem heutigen Sarov (ca. 640km von Moscow entfernt), wird das sowjetische Los Alamos. Innerhalb eines Jahres wird es ihnen gelingen, eine nukleare Kettenreaktion zu unterstützen und einen nuklearen Reaktor zu bauen. Im Dezember 1945 wird in Indien das *Tata Institut für fundamentale Forschung* eröffnet und beginnt auch, Uran und Plutonium zu studieren. Schon damals wollte die Versammlung der während des Krieges gegründeten Vereinten Nationen eine komplette Eliminierung der atomaren Waffen.

Es wird aber nichts Bedeutendes unternommen; im Gegenteil, in Los Alamos treffen sich Wissenschaftler heimlich, um die Durchführbarkeit der nächsten Atombombe-Generation zu studieren, nämlich die thermonukleare oder Wasserstoff-Bombe, die nicht mehr aus der Spaltung von Nukleonen sondern aus der Verschmelzung ihre Energie gewinnt. Die traditionelle Bombe wird weiter geprüft mit der Operation Crossroads, die zwei andere nukleare Detonationen darstellt. Die zweite, »the Baker Shot«, ist besonders beeindruckend: es geht um eine Unterwasser-Explosion. Millionen von Tonnen siedendes Wasser werden sehr stark radioaktiv bestrahlt und in die Luft gejagt, und zwar schneller als die Tongeschwindigkeit.

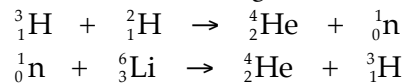
Vor Ende 1949 werden in den USA verbesserte Spaltungsbomben getestet (siehe Anlage B). Die Spannungen zwischen dem kommunistischen Block und den kapitalistischen Ländern wachsen, der kalte Krieg nimmt Gestalt an. Mehrere nukleare Kriegspläne gegen die UdSSR werden ausgedacht: das Fallenlassen von 50 Bomben auf 20 russische Städte, später 133 Bomben auf 70 Städte. Diese Pläne werden aufgegeben, wenn die sowjetische Union ihren ersten nuklearen Test am 29. August 1949 durchführt: Joe 1, eine 10-20 kt Plutoniumbombe.

Auf dem Weg der Fusion: die 50-er Jahre

Währenddessen versucht man noch in den USA, eine Fusionsbombe zu bauen. Die Physiker haben dabei Schwierigkeiten, denn mehrere Probleme müssen beseitigt werden: die von der Spaltungsbombe ausgehende Druckwelle kann den Wasserstoff nicht genug zusammenpressen. Es müssen flüssiges Deuterium und Tritium als Verschmelzstoff gebraucht werden (d.h. dass sie auch gekühlt werden mussten). Tritium musste künstlich herge-

stellt werden, kostete ca. 80 mal so viel wie Plutonium, und ist dazu noch radioaktiv und zerfällt mit einer Halbwertszeit von 12 Jahren.

Die erste Amerikanische Wasserstoffbombe hätte nie als Waffe eingesetzt werden können: es war eigentlich ein ganzes Laboratorium von etwa 60 Tonnen, das im Augenblick der Zündung zusammen mit dem Gebäude, ja mitsamt der ganzen Insel Elugelab verschwand. Die folgende Lösung war: anstatt einen flüssigen Stoff zu benutzen, hat man Lithiumdeuterid ${}^6\text{Li}^2\text{H}$ (LiD) verwendet. Es fand kein radioaktiver Zerfall statt, noch brauchte man das Lithiumdeuterid zu kühlen. Das Ergebnis sah so aus: durch einen konventionellen Sprengstoff wird eine überkritische Masse ${}^{239}\text{Pu}$ erzeugt. Die Neutronen der anlaufenden Kettenreaktionen erzeugen Tritium mit dem vorhandenen Lithium. Unter dem Explosionsdruck können die folgenden Reaktionen ablaufen:



Die erste ist, wie schon oben gezeigt, hoch energetisch. Es wird auch eine Kettenreaktion im Plutoniumkern ausgelöst. Der Druck der verdampfenden Kunststoffummantelung sorgt dafür, dass das Gemisch lange genug zusammen bleibt. Der Mantel aus natürlichem Uran reflektiert die Neutronen und verstärkt so die Explosionswirkung.

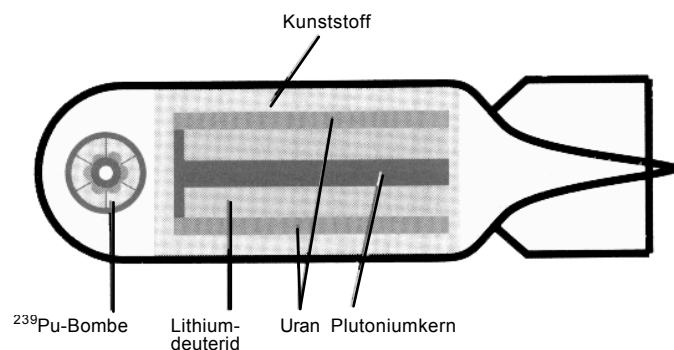


Abb. 7 Eine Wasserstoffbombe

Die erste Wasserstoffbombe wird von den USA am 1. November 1952 gezündet. Die UdSSR testet ihre thermonukleare Bombe weniger als ein Jahr später und das vereinigte Königreich 1957. Der Koreakrieg war im Juni 1950 ausgebrochen und Truman sagte damals, er sei bereit, Atomwaffen zu benutzen; seine Meinung änderte sich, als bekannt wurde, dass die Sowjetunion auch eine Fusionsbombe gebaut hatte. Die nuklearen Tests gehen weiter: man beginnt, Bomben im so genannten Nevada Test Site zu testen. Kurz bevor Einstein 1955 starb, verkündete er mit Bertrand Russel ein Manifest über die Gefahren des »Atomwettbewerbs«. Zwei Jahre später veröffentlichte der berühmte Humanist Albert Schweizer seine *Erklärung*, in der er u. a. sagte:

Das Ende aller weiteren Experimente mit Atombomben wäre wie frühe Sonnenstrahlen von Hoffnung, nach denen die leidende Menschheit verlangt.

Der erste Teil der 50-er Jahre wird noch von der Gründung des Abrüstungsausschusses in den Vereinten Nationen, von der Wahl von Dwight Eisenhower, von der Anklage gegen Oppenheimer, sowjetische Kontakte zu unterhalten und vom allgemeinen Wachstum der Spannungen, gekennzeichnet. In Mai 1955 macht der Abrüstungsausschuss einen Atomabrüstungsvorschlag, der unerwarteterweise von der UdSSR angenommen wird; von den USA aber nicht. 1956 erscheinen die ersten Kernkraftwerke in Russland und in England. Die Bevölkerung der verschiedenen Länder fühlt sich mehr und mehr von der Atompolitik betroffen. Einige Romane über einen fiktiven Atomkrieg werden schnell Bestseller und man sieht mehrere Demonstrationen gegen die nukleare Politik der USA. In Januar 1958 lancieren Linus Pauling und seine Frau Eva Helen Pauling eine Petition zum Verhindern weiterer nuklearen Tests, die von 11021 Wissenschaftler aller Welt unterschrieben wurde.

Ende des kalten Krieges und Entspannung

Am Anfang des Jahres 1960 lässt Frankreich seine erste Atomwaffe in der Sahara Wüste explodieren, ihre Energie beträgt 60-70 kt. Damit wird Frankreich die vierte Nation, Atombomben zu besitzen. Trotz massiver Demonstration in New York gehen die Tests weiter: der Beginn der 60-er ist nämlich die aktivste Zeitperiode, wenn man die atomaren Explosionen betrachtet. Man hat auch während der 50-er Jahre viele unterirdische Tests durchgeführt, wobei der radioaktive Niederschlag viel besser kontrollierbar war als bei einer atmosphärischen oder Unterwasser-Explosion. Ein Beispiel unterirdischer Explosionen ist Project Long Shot. Die Technologie

der Wasserstoffbombe ist jetzt beherrscht; das vermeidet aber nicht einige Unfälle, die katastrophal hätten sein können. Am 23. Januar zum Beispiel stürzte ein amerikanischer B-52 Bomber in Nord Karolina ab, der zwei 24 Mt thermonukleare Bomben trug. Auf einer der Bomben versagten fünf von sechs Sicherheitsgeräten, und ein einziges verhinderte die Zündung. Die Explosion wäre 1800 Mal kräftiger als die Hiroshima-Bombe gewesen.

1962 hätte die Kuba-Krise einen Atomkrieg verursachen können. Amerikanische Flugzeuge erkennen sowjetische Atomwurfgeschosse auf der Kuba-Insel. USA-Präsident Kennedy isoliert sofort die Insel und die amerikanische Marine verhindert jeden Zugang nach Kuba. Nach einer hoch gespannten Woche akzeptiert Khrushchev, seine Geschosse zurückzuziehen, wenn die USA sich verpflichten, in die Kuba-Insel nicht einzumarschieren. Andererseits vereinbart Kennedy heimlich mit der Sowjetunion, dass die in der Türkei stationierten amerikanischen Raketen ebenso zurückgezogen werden. Das Ende dieser Krise ist auch das Ende des kalten Krieges und markiert auch den Beginn neuer Verhandlungen. Am 20. Juni 1963 wird der so genannte heiße Draht installiert, der jede Stunde ohne Unterbrechung getestet wurde.

Der »*Limited Test Ban Treaty*« wird am 5. August in Moskau von den USA und der UdSSR unterschrieben und tritt am 10. Oktober in Kraft (den Text des LTBT findet man im Netz: <http://www.fas.org/nuke/control/lbtbt/>). Er verbietet alle atmosphärischen, Weltraum- und Unterwasser-Tests und hat eine unbeschränkte Gültigkeit. Das ist ein erster Schritt im Abrüstungsgeist, es ist zwar nicht genug, um den Atomwettlauf zu beenden. In Bezug auf den ökologischen Niederschlag der Tests kennzeichnet dieser Vertrag eine bedeutende Etappe: bei den noch erlaubten Testtypen wird die bei den Explosionen freigelassene Radioaktivität viel besser eingeschränkt. Auf der anderen Seite mehren sich noch die Kernkraftwerke...

Am 16. Oktober 1964 wird China mit einer 20 kt Plutoniumbombe die fünfte Atommacht. Die chinesische Regierung erklärte, und unterstrich dabei noch einmal die Zweideutigkeit der Atomwaffen:

China entwickelt Atomwaffen, nicht weil es an ihre Allmacht glaubt, noch weil es plant, sie zu benutzen. Im Gegenteil: Chinas Ziel ist, das nukleare Monopol der Großmächte zu brechen und die atomare Macht zu eliminieren.

Im Juni 1967 testet China seine erste H-Bombe; währenddessen verlegt Frankreich seinen Testort von der Sahara Wüste zum Mururoa Atoll im Pazifik.

In den 60-er Jahren haben auch andere Unfälle stattgefunden: das amerikanische U-Boot *Thresher* ist 1963 gesunken (die Russen haben vor ein Paar Jahren mit dem *Kursk* nichts erfunden...), 129 Besatzungsmitglieder sind dabei ertrunken; ein atombewaffnetes amerikanisches Flugzeug ist 1964 bei den japanischen Küsten gesunken; 1968 sinkt ein sowjetisches U-Boot bei den Hawaii-Inseln, im selben Jahr sinkt noch ein anderes amerikanisches U-Boot mit 99 Besatzungsmitgliedern; ein amerikanischer B-52 Bomber stürzt in Grönland ab und verbreitet radioaktives Plutonium über das Eis; 1969 wird eine Bombe aus Versehen auf das Deck des Flugzeugträgers *USS Entrepriise*, die 25 Menschen tötet und 85 schlimm verletzt. Die Liste ist nicht vollständig.

Am 1. Juli 1968 wird der Vertrag zur Nicht-Proliferation der Atomwaffen von den USA, der UdSSR und dem Vereinigten Königreich unterschrieben. Link: <http://www.un.org/Depts/dda/WMD/treaty/>

Die 70-er Jahre werden von der Generalversammlung der Vereinten Nationen als erstes Abrüstungs Jahrzehnt bezeichnet. Sie beginnen nämlich mit den Verhandlungen für die Beschränkung der strategischen Waffen (SALT — *Strategic Arms Limitation Talks*). Sie beschränken die Nummer von Waffen, die jede Nation haben darf und werden 1972 unterschrieben. Sie stellen zwar ein nächster, bedeutender Schritt in der Abrüstungspolitik und sie tragen bei, die allgemeine Stimmung zu entspannen; sie haben jedoch keinen Einfluss auf die nuklearen Tests, die bei den fünf Atomnationen weitergehen. Auf der anderen Seite scheinen die amerikanischen Militärs nicht so ganz mit diesem Abrüstungsprinzip einverstanden. Sie entwickeln *Minuteman III* (Link: http://www.fas.org/nukel/guide/usalicbm/lgm-30_3.htm), eine neue Geschoss generation, die erlaubt, viele Städte mit Atomwaffen aus einem einzigen Wurfgeschoss zu zielen. Dadurch haben die USA zwar keinen Vertrag verletzt; im Allgemeinen darf man aber sagen, dass sie nicht die leidenschaftlichsten Befürworter der Abrüstung gewesen sind, weit davon entfernt! Man wird es noch später mit Reagans »Star War« Politik bemerken.

1975 wird der Krieg in Vietnam beendet. Im selben Jahr gelingt es einer amerikanischen Rakete und einem sowjetischen Satelliten, sich in der Umlaufbahn zusammenzubinden, was ein sehr symbolisches Ereignis ist. 1978 werden die Verträge von SALT II von den USA und von der Sowjetunion unterschrieben. Diese sind die logische Fortsetzung von SALT I und setzten die Abrüstungspolitik fort. Nichtsdestoweniger zieht sich USA-Präsident Jimmy Carter 1979 von den SALT II-Verträgen zurück: sein Grund dafür ist die Invasion Afghanistans von der UdSSR.

Am 22. September 1979 findet eine nukleare Explosion nicht weit vom Kap der Guten Hoffnung. Es wird vermutet, dass sie von Israel mit der Hilfe von Süd Afrika durchgeführt worden ist.

Star Wars vs. der »Comprehensive Test Ban Treaty«

Das Jahr 1980 wird vom letzten atmosphärischen Test (von China durchgeführt) gekennzeichnet. Neue Verhandlung werden in Genf unternommen, um alle Typen von nuklearen Tests zu verbieten, was mit dem »*Limited Test Ban Treaty*« (LTBT) von 1963 angefangen wurde. Heute noch ist dieser »*Comprehensive Test Ban Treaty*« (CTBT — *Link: <http://www.ctbto.org/>*) nicht in Kraft getreten. Die zweite und dritte Abrüstungs Jahrzehnten werden jedoch von einigen Vorfällen unterbrochen, deren wichtigsten sind: die falsche Ortung durch ein amerikanisches Sicherheitssystem von sowjetischen Geschossen, wegen einer Funktionsstörung eines Chips, was mehr als hundert B-52 Bomber in einigen Minuten kampfbereit gemacht hatte, bevor der Fehler gefunden werden konnte; Israel, Iran und Irak, die alle mehr oder weniger entwickelte nukleare Forschung betreiben und die nuklearen Reaktoren voneinander bombardieren. Der tragische Unfall von Tschernobyl muss nicht vergessen werden, der riesige Gebiete von Ukraine und Belarus (das ehemalige Weißrussland) mit radioaktivem Jod und Cäsium verseuchte. Im Allgemeinen bemerkt man, dass in dieser Zeitperiode die UdSSR scheint, sich anzustrengen, die Tests zu beschränken und zu regeln, während die USA ihre ganze Freiheit behalten wollten.

Der neu gewählte USA-Präsident Ronald Reagan ist den Verhandlungen gegenüber besonders feindlich gestanden. 1982 zieht er die USA aus den CTBT-Verhandlungen in Genf zurück. Er nennt die UdSSR das »diabolische Empire« und droht, die noch nicht ratifizierten SALT II-Verträgen für die USA aufzuheben. Reagan ist für seine »Star Wars« Politik bekannt: die Idee war u. a., eine Orbitalstation zu haben, die die USA gegen ICBM (*Intercontinental Ballistic Missiles*, interkontinentale ballistische Geschosse) schützen konnte. Trotz heftiger Kritik führt er das Projekt fort, das mehrere Milliarden von Dollar kostete und behauptet, dass es keineswegs irgendeinen Vertrag verletzt. Es ist aber eine provozierende Handlung, die man als feindlich betrachten kann und die eine klare Mangel an gutem Willen zeigt. Um dieses Unternehmen fortzusetzen sind sogar gewisse ICBM manipuliert worden, damit sie von Reagans Orbitalstation abgefangen werden konnten und so ihre Nützlichkeit beweisen. Mit Reagans Politik haben sich die USA verschuldet, während sie jahrelang nach dem zweiten Weltkrieg immer Gläubiger gewesen waren.

Auf der anderen Seite schlagen die Russen ein Moratorium für die Tests wegen der 40 Jahren von der Hiroshima-Bombe vor; sie bleiben aber die einzigen, es zu berücksichtigen: Reagan hat nicht einmal den Anstand, seine Tests während dieser Zeit aufzuhören. Die UdSSR führt ihren letzten unterirdischen Test im Oktober 1989 durch, einige Wochen bevor die Berliner Mauer am 9. November 1989 unerwarteterweise fällt. Dadurch wird das Ende der Gefahr des kommunistischen Blocks charakterisiert: die Grenzen werden geöffnet; Dissidenten werden in gewissen vorher kommunistischen Ländern wie Polen und die Tschechoslowakei zu wichtigen Stellen gewählt.

Die 90-er Jahre markieren einerseits die Schwierigkeit, sich über einen CTBT zu vereinigen, und andererseits neue Spannungen um die französischen Explosionen in Mururoa und eine sehr gespannte Atmosphäre zwischen Indien und Pakistan. Man weiß, dass die UdSSR sich zwischen 1990 und 1991 in mehrere unabhängige Staaten spaltete, einigen von denen (nämlich Weißrussland, Kasachstan und Ukraine) atomare Sprengköpfe besitzen. Allmählich haben die drei bis 1996 alle nuklearen Waffen Russland eingereicht. Frankreich und China haben schließlich den 1968 zum Unterschreiben eröffneten »*Non-Proliferation Treaty*« (NPT) unterschrieben und ratifiziert. Die Verträge von START I (*Strategic Arms Reduction Agreement*, die neue Version von SALT — 1990) und START II (1993) werden auch von den USA und Russland unterschrieben. Sie zielen darauf hin, die atomare Rüstung um mehr als 60% zu reduzieren. Doch der Himmel sieht nicht so blau aus: Nord Korea droht, sich aus dem NPT zurückzuziehen und Marathon-Verhandlungen werden aufgenommen. Und im Oktober 1993 fängt China Atomtests wieder an und lässt fünf Bomben zwischen 1993 und 1995 explodieren. Kaum hat China seine Tests beendet, dass Frankreichs Präsident Jacques Chirac sechs Unterwasser-Explosionen in Mururoa zwischen 1995 und 1996 trotz heftiger und weltweiter Kritik ablaufen lässt. Am 10. September 1996 wird jedoch ein CTBT-Text von der Generalversammlung der Vereinten Nationen angenommen, der sofort durch die fünf atomaren Großmächten unterschrieben wird; jedoch nicht von Indien. Frankreich und Großbritannien sind die ersten, ihn zu ratifizieren; der amerikanische Senat hat ihn 1998 abgelehnt. Heute noch bleibt er von den USA unratifiziert!

Man erinnert sich auch an Indiens und Pakistans 1998 durchgeführte Atomexplosionen, was nicht die geeignetste Entscheidung auf der Abrüstung Ebene war und uns natürlich an den kalten Krieg denken ließ. Seit 1998 haben diese Länder keine Explosion mehr ausgelöst, aber neue interkontinentale ballistische Geschosse entwickelt

und häufig getestet, sei es um herauszufinden, ob sie gut funktionieren, oder um den anderen zu beeindrucken. Auf jeden Fall sieht man, dass die weltweite Abrüstung noch einen langen Weg zu gehen hat! Heute noch führen die USA und Russland so genannte unterkritische Tests durch (bei denen die kritische Masse nicht erreicht wird).

Die heutigen Spannungen

Man weiß, dass es in der ehemaligen Sowjetunion noch mehr als 100 Tonnen Plutonium-239 gibt. Um eine Bombe zu bauen, braucht man kaum 6 kg... Deshalb ist auch die westliche finanzielle Hilfe nötig: wenn die russischen Wissenschaftler nichts mehr verdienen, und wenn sie kein erprobtes Gewissen haben, ist es möglich, dass ^{239}Pu hin und her wandert, und das ist eine bedeutende Gefahr. Es ist nicht so schwierig, eine 10-20 kt Spaltungsbombe zu bauen, das Rezept der Bombe ist kein Geheimnis mehr. Das einzige echt entscheidende Element ist der Spaltstoff. Besitzt man den Spaltstoff — was allerdings sehr schwierig zu haben ist! —, so kann man eine selbstgebastelte Bombe bauen. Stellen wir uns »Atomterroristen« vor! Glücklicherweise bleiben diese Absichten heute unwahrscheinlich; sie sollen aber nicht vergessen werden. Man hat nämlich schon aus Russland geschmuggeltes Plutonium gefunden... Auf einer anderen Ebene fragt man sich auch, ob der gegenwärtige schlechte Situation zwischen Israeliten und Palästinensern nicht ausarten wird, da es bekannt ist, dass Israel keine kleine und unbedeutende nukleare Rücklage besitzt (zwischen 100 und 200 Bomben)!

Schlusswort

Die heutige Lage ist noch weit weg von einer befriedigenden Situation. Überall bleiben Spannungen: zwischen Indien und Pakistan, zwischen den beiden Korea, im Westjordanland. Die Perspektive eines Atomkrieges ist noch nicht zu unrealistisch, damit man sich richtig wohl mit der Atomtechnik fühlen darf.

Mit Videosequenzen aus der Archiv versteht man, wie leichtsinnig die Großmächten sich gegen die Atomkraft benommen haben: was ist leichtfertiger als dieser muntere Musikuntergrund, die man bei einigen Sequenzen hört? Dieses gewissenlose Verhalten muss absolut verbannt werden. Auf der Ebene der nuklearen Tests ist der »*Comprehensive Test Ban Treaty*« das Ergebnis mühsamer Verhandlungen; er muss von den restlichen Nationen noch ratifiziert werden, bevor er in Kraft treten kann. Eine vollständige Liste von Nationen und Status steht auch im Netz. Auf der Abrüstungsebene werden START III und START IV geplant; daraus soll etwas Konstruktives herauskommen.

Man weiß es: die Atomkraft ist die bedeutendste Energiequelle. Mit der Spaltungs- und der Fusionsbombe steht zuviel Energie zur Verfügung einer kleinen Anzahl von Personen. Außerdem können Unfälle nie ausgeschlossen werden.

Bibliografie & Referenzen

Bibliografie

- [1] Patrick Burke, *The Nuclear Weapons World: Who, How & Where*, London, Pinter Publishers Ltd, 1988, 383 Seiten
- [2] Daniel CHARLES, *Nuclear Planning in NATO*, Cambridge, Ballinger Publishing Company, 1987, 184 Seiten
- [3] Erwin HAKEL, Karl KAISER, Pierre LELLOUCHE, *Nuclear Policy in Europe*, Serie »Arbeitspapiere zur internationalen Politik«, Bonn, Forschungsinstitut der deutschen Gesellschaft für Auswärtige Politik e.v., 1980, 134 Seiten
- [4] JOESTEN, JOHNSTON, NETTERVILLE & WOOD, *World of Chemistry*, Orlando, Saunders College Publishing, 1991, ca. 800 Seiten
- [5] Rudolf KIPPENHAHN, *Das Atom*, München, Piper Verlag GmbH, 1998, 359 Seiten
- [6] Warner KIRCHMANN, *Nuclear Test Explosions, Environmental and Human Impacts*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2000, 275 Seiten
- [7] Henry A. KISSINGER, *Nuclear Weapons and Foreign Policy*, New York, Harper & Brothers, 1957, 463 Seiten
- [8] Richard RHODES, *The Making of the Atomic Bomb*, London, Penguin Books, 1986, 884 Seiten
- [9] Christian WALTHER, *Atomwaffen und Ethik*, München, Chr. Kaiser Verlag, 1981, 187 Seiten
- [10] *Le Livre Blanc sur les expériences nucléaires*, Paris, Comité interministériel pour l'information, 1973, 117 Seiten

Ein Paar Internet-Referenzen

http://www.nuclearfiles.org/	Riesige Informationsquelle über das Nukleare
http://www.nv.doe.gov/	Department of Energy, Nevada
http://www.ctbto.org/	Alles über den CTBT (offizieller Website)
http://www.ctbto.org/reference/related_links.html/	Eine Liste von anderen sehr interessanten Websites
http://www.fas.org/nuke/	Federation of American Scientists
http://www.fas.org/nuke/control/	Um alle Verträge zu kennen...
http://nuclearweaponarchive.org/	The Nuclear Weapon Archive

Anti-Atom-Websites

<http://www.nukewatch.com/>
<http://www.cybold.com/nuke/index.html>
<http://www.greenpeace.org/~nuclear/>

Zahlenangaben über die nuklearen Tests

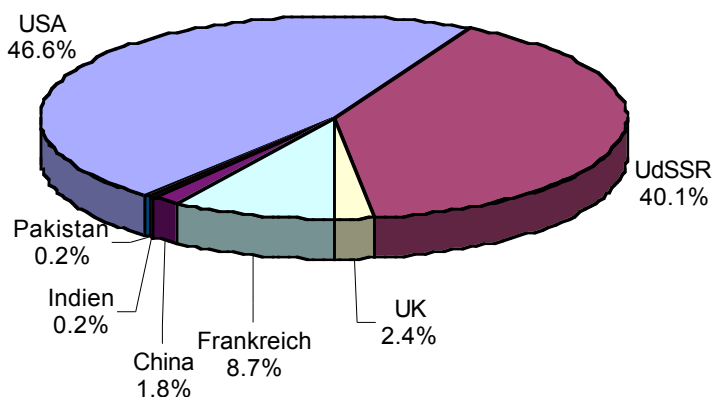
Tab. 1: Zusammenfassung der nuklearen Tests pro Land

Land	Anzahl Tests			Energiefreisetzung (Mt)		
	atmosphärisch	unterirdisch	Summe	atmosphärisch	unterirdisch	Summe
USA	217*	910	910	154	46	200
UdSSR	219	750	969	247	38	285
UK	33**	24	24	8	2	10
Frankreich	50***	160	160	10	3	13
China	22	22	44	21	1	22
Indien	—	6	6	—	?	—
Pakistan	—	6	6	—	?	—
Summe	241	1878	2119	440	90	530

* Inbegriffen sind 22 Sicherheitstests und 2 Kriegsexplosionen

** Inbegriffen sind 12 Sicherheitstests

*** Inbegriffen sind 5 Sicherheitstests



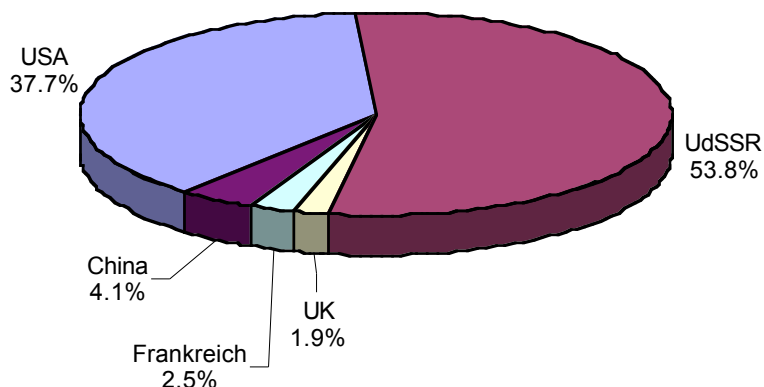
Graph 1: Die nuklearen Tests (pro Land, relativ betrachtet)

Atmosphärische und unterirdische Tests gemischt. Die USA haben fast die Hälfte der nuklearen Tests der Welt durchgeführt.

Graph 2: Die von den nuklearen Tests freigesetzte Energie (pro Land, relativ betrachtet)

Obwohl die UdSSR weniger Tests als die USA durchgeführt haben, war die freigesetzte Energie pro Test durchschnittlich um ca. 58% höher.

Die Werte für die 1998 von Indien und Pakistan durchgeführten Tests sind noch nicht bekannt.



Bombentypen

Dieser Abschnitt beschreibt nicht genau, wie jede entwickelte Bombe funktioniert, sondern gibt eine kurze Übersicht der verschiedenen Typen von Atombomben.

Erste Generation Kernspaltungsbombe. — Die USA und UdSSR haben ihre Tests mit ziemlich elementaren Bomben angefangen: eine sehr schwere Sphäre mit Uran oder Plutonium in der Mitte. Die Masse ist in mehrere unterkritische Massen geteilt und wird bei der Explosion unter der Wirkung eines traditionellen Sprengstoffes kritisch; und somit beginnt die Kettenreaktion (in der Natur gibt es immer freie Neutronen, die die Reaktion starten können).

»Verbesserte« *Spaltungsbombe.* — Der nächste Schritt war die Einführung eines Hilfsmittels, um den Spaltstoff »besser« auszunutzen. Das Problem war nämlich, dass man die Masse von Spaltstoff nicht beliebig erhöhen konnte, denn alle Kerne konnten wegen der riesigen Energiefreisetzung nicht gespalten werden, sondern sie wurden heftig ausgestoßen. Mit den »traditionellen« genannten Atombomben konnte man kaum einen Ertrag von 20 kt überschreiten (was der Energie entspricht, die bei der Explosion von 20000 Tonnen TNT freigesetzt wird). Dem konnte abgeholfen werden, indem u. a. eine Mischung von Deuterium und Tritium (^2H bzw. ^3H) in den Kern der Bombe eingeführt wurde. Bei hoher Temperatur und hohem Druck löste sich eine kleine thermonukleare Reaktion aus, die bewirkte, dass viel mehr Neutronen in den Spaltstoff geschossen wurden. Der Ertrag (wenn man in diesem Kontext von Ertrag sprechen darf) wurde verdoppelt oder manchmal sogar verzehnfacht.

Thermonukleare Bombe (H-Bombe). — Das Prinzip dieser Bombe ist hier ganz anders: es handelt sich nicht um Kernspaltung, sondern um Kernfusion. Es ist aber wie gesagt besonders schwierig, eine solche Reaktion auszulösen, da man Millionen von Grad erreichen muss; dagegen ist bei der Fusion keine kritische Masse zu berücksichtigen. Die einfachste Methode war, die thermonukleare Reaktion mit einer Spaltungsbombe zu starten. Die USA und die UdSSR haben mit Schwierigkeiten mit H-Bomben gearbeitet; schlussendlich kam die USA mit einer $^6\text{Li}^2\text{H}$ (oder LiD) Lithiumdeuterid-Bombe aus (LiD wird auch schweres *Lithiumhydrid* genannt), die eine Stärke von etwa 15 Millionen Tonnen TNT hatte — das Tausendfache der Hiroshima-Bombe. Die stärkste Bombe aller Zeiten war eine russische 50 Mt Wasserstoffbombe.

Neutronenbombe. — Diese Bombe kennzeichnet eine besonders grausame Episode. Sie wurde nämlich entwickelt, damit sie so viele Soldaten wie möglich tötete, ohne anderen Schaden anzurichten. Es ging um eine thermonukleare Bombe, deren Sprengkraft stark reduziert war (aber trotzdem noch vielen Kilotonnen TNT entsprach), und deren tödliche Neutronenfreisetzung dramatisch erhöht wurde. Deren Energie war riesig, sie konnten über weite Strecken fliegen und sogar durch den Stahl eines Panzers die Besatzung kampfunfähig machen. Diese Bombe ist auch als ERW bekannt: *Enhanced Radiation Weapon*.

Andere Atombomben. — Die RRW, *Reduced Radiation Weapon*, wurde auch entwickelt, damit sie möglichst viel Schäden bei der Infrastruktur verursachte. Andere Bomben wurden ausgedacht, damit ihr elektromagnetischer Impuls am Größten ist, um speziell elektrische und elektronische Anlagen in einem bedeutenden Radius zu beschädigen. Eine der letzten Ideen, die am Ende des kalten Krieges geboren wurden, war die von den Amerikanern »X-ray laser« genannte Bombe. Der Gedanke dahinter war, eine Satelliten-Atombombe explodieren zu lassen, die eine sehr genau gezielte Röntgenstrahlung hervorriefe, welche feindliche Geschosse zerstören könnten.