

GENERALSTABSABTEILUNG 753.4/63 GEHEIM
Untergruppe Planung

Expl. Nr. : 44

241/1.5

MOEGlichkeiten
EINER EIGENEN ATOMWAFFEN-PRODUKTION



Die Untergruppe Planung der Generalstabsabteilung hat am 4.4.63 eine Studiengruppe damit beauftragt, die Möglichkeiten einer eigenen Atomwaffenproduktion zu untersuchen. Die Studiengruppe setzt sich aus wissenschaftlichen Persönlichkeiten zusammen, die sich bereit erklärt hatten, die umfangreichen Untersuchungen auf freiwilliger Basis und zusätzlich zu ihrem normalen Arbeitspensum zu leisten.

Die Aufgabe wurde folgendermassen umrissen:

"Abklärung:

- der Beschaffungsmöglichkeiten für Ausgangsmaterialien im In- und Ausland,
- der Möglichkeiten zur Herstellung von spaltbaren Stoffen in der Schweiz,
- der Möglichkeiten für die Entwicklung und Herstellung von Atomsprengkörpern durch unsere Industrie.

Es handelt sich zunächst darum, auf Grund des heutigen Standes unserer Kenntnisse die Grössenordnung des Aufwandes in wissenschaftlicher, technischer, personeller, finanzieller und zeitlicher Hinsicht festzustellen, um zu erkennen, ob die unserem Kleinstaat gesetzten Grenzen gesprengt werden oder nicht. In der Folge soll auf Zukunftsperspektiven hingewiesen werden, welche die festgestellte Grössenordnung verändern könnten und deshalb weiter verfolgt werden müssen."

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse dieser Abklärung zusammen.

Bern, den 15. November 1963

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	<u>Seite</u>
Einleitung	1
1. Grundbegriffe	2
1.1 Atomwaffen und ihre Charakteristiken	2
1.1.1 Physikalische Grundlagen	2
1.1.2 Klassifikation der Atomwaffen und Anhaltspunkte über deren Konstruktion	10
1.1.3 Bemerkungen zu den möglichen Waffenträgern	13
1.2 Produktion des Spaltstoffes	15
1.2.1 Die Herstellung von hochangereichertem Uran	15
1.2.2 Allgemeines zur Erzeugung von Plutonium-239	18
2. Grundausrüstung der Armee an Kernwaffen	21
2.1 Festlegung von drei Bewaffnungsstufen	21
2.2 Bedarf an Spaltstoffen für die drei Bewaffnungsstufen	24
3. Anforderungen für eine entsprechende Eigenproduktion von Spaltmaterial	26
3.1 Beschaffung des Ausgangsmaterials	26
3.1.1 Ausländische Quellen	26
3.1.2 Eigenproduktion von Natururan	27
3.2 Produktionsanlagen	30
3.2.1 Produktionsanlagen für hochangereichertes Uran	30
3.2.2 Produktionsanlagen für Plutonium	32
3.3 Waffenentwicklung	35
3.3.1 Allgemeines, Personalaufwand	35
3.3.2 Grobe Kostenabschätzung für die Waffenentwicklung	38
3.3.3 Unsicherheiten der Abschätzung betreffend Waffen-Entwicklung	40
4. Zusammenstellung des Totalaufwandes	41
4.1 Natururanproduktion	41
4.2 Produktion des Spaltmaterials	41
4.3 Waffentechnische Entwicklung	43
4.4 Staffelung und Zusammenzug aller Aufwendungen	43

- II -

5. Beurteilung der Aussichten auf Realisierung einer eigenen Atomwaffen-Produktion	46
5.1 Zuverlässigkeit der Schätzungen, offene Probleme	46
5.2 Personalbedürfnis	47
5.3 Finanzen, Auswirkungen auf die Wirtschaft	48
6. Zusammenfassung und Schlussbetrachtungen	51
7. Vorschläge für das weitere Vorgehen	55

Anhänge

1.1.A1	"Beurteilung der Möglichkeiten, die zur Herstellung von Spaltungsatombomben erforderlichen Spaltstoffmengen durch Zufügen von Moderatoren zu verkleinern."
1.1.A2	"Minimale Spaltstoffmengen für Atomwaffen verschiedener Kaliber."
1.1.A3	"Betrachtungen zur Zündung von Spaltungs-Atombomben und thermonuklearen Kernwaffen."
1.1.A4	"Die Herstellung von hochangereichertem Uran."
3.2.A1	"Vergleich zwischen den Gasdiffusions- und Zentrifugenverfahren"
3.2.A2	"Abschätzung der zur Gewinnung von hochangereichertem Uran-235 notwendigen Energie im Falle des Gasdiffusionsverfahrens."
3.2.A3	"Kostenschätzung, falls die 1. Stufe nach fünfjähriger Uran-235-Produktion abgeschlossen sein soll."
3.2.A4	"Produktionsanlagen für Plutonium-239"

Einleitung

In diesem Bericht sollen die technischen Probleme beschrieben werden, welche eine eigene schweizerische Atomwaffenproduktion stellt, und der Aufwand für deren Bewältigung grob geschätzt werden. Dabei können die einzelnen Fragen nicht detailliert untersucht werden, da dafür zu wenig Personal und Zeit zur Verfügung steht. Die politischen Probleme einer Atombewaffnung gehören nicht zum Mandat der Studiengruppe, sodass diese Seite nicht betrachtet wird.

Der Bericht ist so aufgebaut, dass in der Einleitung dem in dieser Hinsicht Interessierten einige grundlegende Kenntnisse über die physikalische und technische Seite der Atomwaffenproduktion vermittelt werden. Im 2. Kapitel werden die waffentechnische Ausgangshypothese aufgestellt und die sich daraus ergebenden Anforderungen an eine eigene Spaltstoffproduktion angegeben.

Im 3. Kapitel wird der Aufwand näher beschrieben, welchen eine eigene Atomwaffenproduktion auf der vorher definierten Basis erfordern würde. Die Titel der weiteren Kapitel beschreiben ausreichend den Inhalt, sodass hier keine zusätzlichen Erklärungen notwendig sind. Mit Ausnahme der Einleitung wurden die mehr technischen Ausführungen und Untersuchungen zum gestellten Thema in die Anhänge aufgenommen. In diesen findet man allgemein die technischen Begründungen für die verschiedenen Feststellungen und Schätzungen des Berichtes. Da die wesentlichen Ergebnisse der dort dargelegten Untersuchungen im Bericht selbst nochmals aufgeführt sind, brauchen die Anhänge nicht unbedingt konsultiert zu werden, falls man die gemachten Aussagen ohne eine ausführliche Begründung anzunehmen bereit ist.

Der Leser, der sich nur für die hauptsächlichsten Resultate der Studie interessiert, kann sich mit der Lektüre des Kapitels 2, des Abschnittes 4.4, und der Kapitel 5, 6 und 7 begnügen.

1. Grundbegriffe

1.1 Atomwaffen und ihre Charakteristiken

1.1.1 Physikalische Grundlagen

Die Atomenergie oder, genauer gesagt, die Atomkernenergie kann für militärische Zwecke auf zwei Arten freigelegt werden, nämlich durch Kernspaltung (Fission) und durch Kernverschmelzung (Fusion). Um die wesentlichen Aspekte dieser beiden komplementären Kernreaktionen zu erkennen, sind ein gewisser Einblick in den Aufbau der Atomkerne und ein gewisses Verständnis für die dort wirksamen Kräfte erforderlich.

Im Atomkern sind mehr als 99% der gesamten Masse eines Atoms auf kleinstem Raume konzentriert. Ueberdies trägt der Kern die gesamte positive Ladung des als Ganzes neutralen Atoms. In einem Abstand von ca. 10'000 Kernradien kreisen die Elektronen, welche zusammen eine ebenso grosse negative Ladung verkörpern. Ihre Zahl ist für das chemische Verhalten des betreffenden Atoms massgebend. Die anziehenden elektrischen Kräfte (Coulomb-Kräfte), welche zwischen dem positiv geladenen Atomkern und den einzelnen Elektronen wirken, verhindern beim neutralen Atom, dass sich die zugehörigen Elektronen aus dem Kraftfeld des Atomkerns ganz entfernen. Die elektrischen Kräfte in diesem Mikrokosmos wirken also ganz ähnlich wie die Schwerkraft (Gravitation) zwischen der Sonne und ihren Satelliten: sie sind anziehend. Während die Gravitationskräfte stets anziehend sind, beruht aber die Anziehungskraft zwischen Atomkernen und Elektronen auf der aus dem Elementarunterricht in Elektrizität und Magnetismus bekannten Regel, dass sich ungleichnamige Pole anziehen, gleichnamige abstossen.

Bei näherer Erforschung der positiv geladenen Atomkerne fand man, dass diese keineswegs als unteilbare Einheiten aufzufassen sind, sondern aus zweierlei Grund-"Bausteinen" bestehen, nämlich positiv geladenen "Protonen" und elektrisch neutralen "Neutronen". Protonen und Neutronen (beide werden auch "Nukleonen" genannt) sind fast gleich schwer, haben aber eine Masse, welche diejenige des Elektrons um etwa einen Faktor 2000 übersteigt. Würden nur elektrische Kräfte existieren, so könnten die Atomkerne gar nicht zusammenhalten, sondern ihre positiv geladenen und elektrisch neutralen Nukleonen würden sich wie Teilchen eines Gases unter das "Elektronengas" mischen und ein sogenanntes "Plasma" bilden. Es sind

nun die eigentlichen Kernkräfte, welche diese "Verdampfung" der Atomkerne verhindern. Die Kernkräfte haben eine verhältnismässig kleine Reichweite. Sie wirken zwischen allen Nukleonen und sind stets anziehend, ohne Rücksicht auf die Ladung. Im Abstände einiger Nukleonendurchmesser sind sie wesentlich stärker als die Coulombkräfte zwischen zwei Protonen. Sie lassen sich z.B. durch Gummibändchen mit einheitlicher Spannung und Reissfestigkeit veranschaulichen, welche die sich berührenden Nukleonen zusammenhalten. Demgegenüber verursachen die Coulombkräfte zwischen den positiv geladenen Protonen infolge ihrer wesentlich grösseren Reichweite eine mit zunehmender Protonenzahl immer stärker anwachsende Expansionskraft. Diese kann bei schweren Kernen so stark werden, dass einzelne "Gummibändchen" reissen. Dadurch werden benachbarte erst recht überlastet, so dass schliesslich eine Spaltung des Kerns erfolgt. Die beiden Bruchstücke halten unter sich gut zusammen, werden aber durch die elektrischen Kräfte gegenseitig abgestossen und fliegen daher mit Wucht auseinander.

Solche Spaltungen kommen bei genügend schweren Kernen schon unter dem Einfluss der stets vorhandenen Vibration der Nukleonen spontan zustande, (spontane Spaltung, vorwiegend bei Kernen mit einer geraden Zahl von Nukleonen) erst recht aber bei Beschuss mit Neutronen, welche solche Vibrationen noch gewaltig verstärken (neutroneninduzierte Spaltung). Gewisse Kerne sind so labil, dass sie sich schon mit langsamen Neutronen spalten lassen (z.B. U^{235} , Pu^{239} , U^{233}), andere aber können nur durch schnelle Neutronen gespalten werden (z.B. U^{238} , Pu^{240} , Th^{232}).

Zeigt dieses vereinfachte Bild über den Aufbau der Atomkerne schon anschaulich, dass durch die Spaltung schwerer Kerne die Kernkräfte überwunden und die in den elektrischen Coulombkräften schlummernde Energie freigelegt wird, so gestattet es auch eine qualitative Erklärung für die Energiegewinnung durch Verschmelzen von leichten Kernen. Beim Zusammenbringen zweier leichter Kerne muss verhältnismässig wenig Arbeit geleistet werden, um die abstossenden Coulombkräfte zu überwinden. Sobald aber ein Abstand von der Grössenordnung einiger Nukleonendurchmesser erreicht wird, greifen die sehr viel stärkeren Kernkräfte ein und reduzieren den Abstand vehement auf ein Minimum. Bei diesem heftigen "Zusammenklappen" oder "Verschmelzen" wird mehr Energie frei als zur Ueberwindung der "Coulomb-Barriere" notwendig war. Bei den wichtigsten Verschmelzungsreaktionen wird die gewonnene Energie in Form von schnellen Neutronen oder Protonen frei, die bei der Verschmelzung sozusagen "weggedampft" werden.

Bevor für die Spaltung und die Verschmelzung praktisch wichtige Beispiele gegeben werden, ist es notwendig, noch einige weitere Begriffe und Bezeichnungen einzuführen, welche später immer wieder gebraucht werden:

Die Kernladungszahl Z eines Atomkerns bedeutet nichts anderes als die Zahl der Protonen, welche im Kern vorhanden sind. Es ist gleichzeitig auch die Zahl der Elektronen, welche beim neutralen Atom des betreffenden Elementes den Kern umgeben. Die Kernladungszahl ist also ein charakteristisches, ja eindeutiges Merkmal der Elemente und bestimmt im wesentlichen das chemische Verhalten.

Die Massenzahl A eines Atomkerns gibt einfach an, wie viele Nukleonen, also Protonen und Neutronen, im betreffenden Kern vorhanden sind. Sie legt mit grosser Genauigkeit auch die Masse des betreffenden Kerns fest.

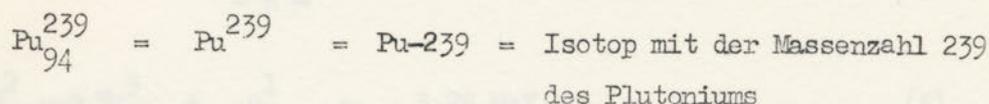
Isotopie: Zwei Atomkerne sind dann zueinander isotop, wenn sie die gleiche Ladungszahl aufweisen, also zum selben chemischen Element gezählt werden.

Isotope: Oft wird der Begriff der Isotopie, der eigentlich ein vergleichender ist, auch für einen einzigen Atomkern gebraucht. Unter "einem bestimmten Isotop" versteht man dann einen Kern des betreffenden Elementes mit einer ganz bestimmten Massenzahl.

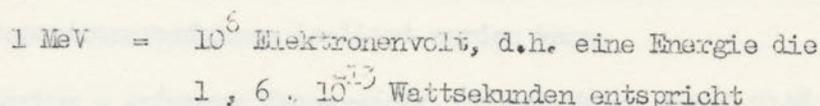
Isobare: Zwei Atomkerne sind zueinander isobar, wenn ihre Massenzahl übereinstimmt, wenn sie also innerhalb ziemlich enger Grenzen gleich schwer sind.

Symbolische Bezeichnung bestimmter Atomkerne: Für die Bezeichnung der Atomkerne werden die Abkürzungen gebraucht, welche auch für die Identifikation der Elemente im periodischen System verwendet werden. Wird ein bestimmtes Isotop herausgegriffen, so wird die Massenzahl als oberer Index angegeben. Gelegentlich, jedoch überflüssigerweise, wird auch die Kernladungszahl als unterer Index angeschrieben

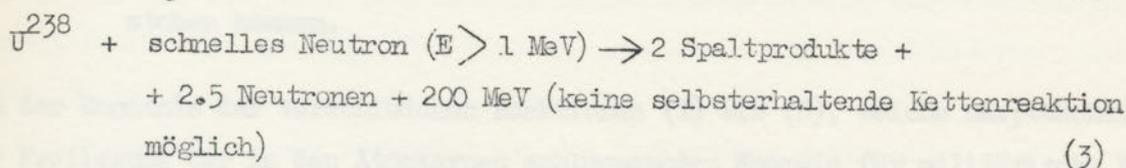
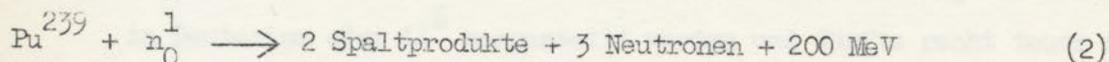
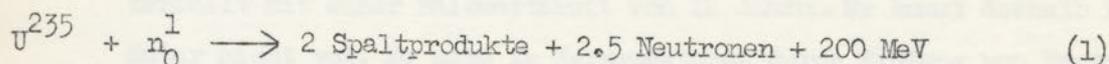
Beispiele: ${}_{92}^{235}\text{U}$ = U^{235} = U-235 = Isotop mit der Massenzahl 235
des Urans. Dieser Kern enthält
also 92 Protonen und $235-92 =$
143 Neutronen



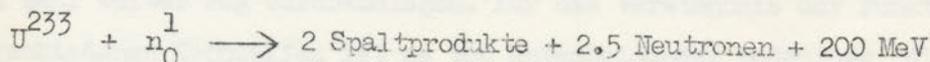
Symbolische Bezeichnung der Kernteilchen:



Für die Energieerzeugung zu militärischen Zwecken durch Atomkernspaltung kommen im gegenwärtigen Zeitpunkt und während der nächsten 10 Jahre nur die folgenden Reaktionen in Frage:

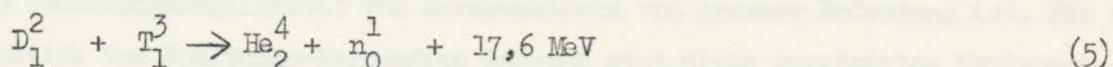
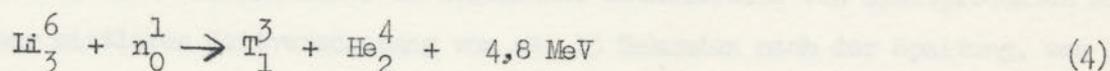


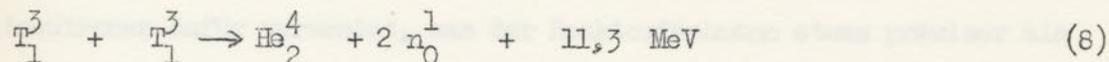
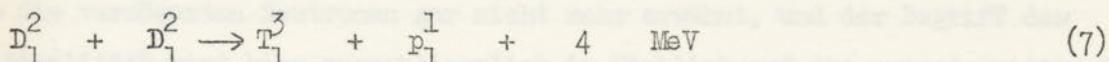
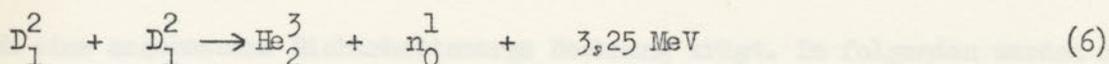
Die mögliche Reaktion



muss in absehbarer Zeit nicht ernsthaft in Betracht gezogen werden, da noch viel zu wenig U^{233} vorhanden sein wird. Dieses kommt nämlich in der Natur nicht vor und muss durch "Brüten" von Thorium erst erzeugt werden. Höhere Transurane, wie z.B. Californium 252, auch wenn sie spaltbar sind und eine wesentlich kleinere kritische Masse aufweisen, dürften aus verschiedenen Gründen, hauptsächlich aber wegen der hohen Kosten für ihre Herstellung, nicht in Frage kommen.

Die Energieerzeugung für militärische Zwecke durch Verschmelzung leichter Kerne kann nach folgenden Reaktionsgleichungen erfolgen:





wo Li_3^6 = Lithiumisotop, das im natürlichen Lithium zu 70% vorkommt und durch Isotopentrennverfahren isoliert werden kann.

D_1^2 = Deuterium = schwerer Wasserstoff. In der Natur ist 0.014% des Wasserstoffes Deuterium. Er kann durch verschiedene Isotopentrennverfahren in sehr reiner Form gewonnen werden.

T_1^3 = Tritium = "überschwerer" Wasserstoff. Dieser ist nicht stabil, sondern zerfällt mit einer Halbwertszeit von 12 Jahren. Er kommt deshalb in der Natur nicht vor. Er muss in Kernreaktoren durch Einfang von Neutronen in Deuterium oder Li_3^6 hergestellt werden und dürfte recht teuer zu stehen kommen.

Von der Kenntnis der verschiedenen Reaktionen (1) bis (8), welche hauptsächlich zur Freilegung der in den Atomkernen schlummernden Energie für militärische Zwecke in Frage kommen, bis zur Konstruktion von nuklearen Sprengköpfen ist natürlich ein sehr weiter Weg zurückzulegen. Für das Verständnis der Funktionsweise der verschiedenen Kernwaffen ist es von entscheidender Bedeutung, die wesentlichen Züge der Spaltungskettenreaktion einerseits und der thermonuklearen Verschmelzungsreaktion andererseits zu kennen und voneinander zu unterscheiden.

Die Spaltungskettenreaktion beruht, wie schon der Name sagt, auf einer Kette von Reaktionen, welche z.B. mit einer ersten Spaltung ihren Anfang nehmen. Wie die Reaktionsgleichungen (1) bis (3) zeigen, entstehen im Mittel bei jeder Atomkernspaltung 2-3 Neutronen, welche im Prinzip die Möglichkeit haben, ihrerseits weitere Spaltungen in benachbarten Kernen eines spaltbaren Materials auszulösen. Ein kleiner Bruchteil dieser Neutronen (ca. 0,6% für U^{235} und 0,2% für Pu^{239}) erscheint erst im Anschluss an sogenannte Betazerfälle von Spaltprodukten mit einer mittleren Zeitverzögerung von ca. 13 Sekunden nach der Spaltung, was für die Steuerungsmöglichkeit von Kernreaktoren von grosser Bedeutung ist. Für die Funktion von Spaltungs-Kernwaffen dagegen sind diese verzögerten Neutronen praktisch bedeutungslos, sofern man ihnen nur bei der Lagerung der Sprengköpfe

durch eine angemessene Sicherheitsmarge Rechnung trägt. Im folgenden werden deshalb die verzögerten Neutronen gar nicht mehr erwähnt, und der Begriff der "Kritikalität" wird hier ausschliesslich im Hinblick auf die prompt emittierten Spaltneutronen dafür verwendet, was der Reaktorfachmann etwas präziser als "prompte Kritikalität" bezeichnen würde. Die Spaltungskettenreaktion hat sehr enge Parallelen in der Vermehrung von Organismen. Sie kann unter günstigen Umständen zu einem lawinenartigen Anwachsen der im System vorhandenen Neutronen führen. Man spricht denn auch von einer "Neutronenbevölkerung" in einem System von spaltbarem Material. Neutronen, welche in einem solchen System vorhanden sind, können im wesentlichen drei verschiedene Schicksale erleiden. Sie können aus dem System entweichen und damit für die Kettenreaktion verloren gehen. Sie können aber auch im Spaltstoff oder in einem parasitären Atomkern, welcher als Verunreinigung vorhanden ist, ohne jede nützliche Wirkung absorbiert werden. Schliesslich können sie einen spaltbaren Atomkern treffen und ihn auch wirklich spalten. Es ist nun klar, dass das dritte Neutronenschicksal umso wahrscheinlicher ist, je reiner das spaltbare Material und je kleiner das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen ist. Als ein gebräuchliches Mass für die Vermehrungschancen der Neutronenbevölkerung verwendet man den "effektiven Multiplikationsfaktor" k . Dieser gibt das zahlenmässige Verhältnis der Neutronenbevölkerung in zwei aufeinander folgenden Generationen an. $k = 1$ charakterisiert demnach eine zeitlich konstante Neutronenbevölkerung, (kritisches System), wogegen $k < 1$ bedeutet, dass die durchschnittliche Zahl der unmittelbaren "Nachkommen" eines Neutrons kleiner als 1 ist, und somit die Neutronenbevölkerung aussterben würde, wenn nicht ständig neue Neutronen von aussen ins System hinein gebracht oder auf andere Weise erzeugt würden (unterkritisches System). $k > 1$ schliesslich bedeutet, dass die Zahl der Neutronen von einer Generation zur nächsten um den Faktor $k > 1$ zunimmt, und somit jedes Neutron theoretisch eine unendlich grosse Zahl von Nachkommen hat. Offensichtlich ist dies im Prinzip der erwünschte Fall einer selbsterhaltenden, lawinenartig anwachsenden Kettenreaktion (überkritisches System). In einer dermassen anschwellenden Kettenreaktion ist natürlich die Geschwindigkeit des Anwachsens der Neutronenbevölkerung von grosser Bedeutung. Diese wird namentlich beeinflusst durch die sogenannte Generationszeit, d.h. die mittlere Zeit, welche benötigt wird, bis ein im System vorhandenes Neutron durch einen Nachfolger ersetzt wird. Je kleiner diese Zeit ist, desto schneller wächst bei gegebenem $k > 1$ die "Neutronenlawine" an. Damit eine Kettenreaktion mit beträchtlicher Ausbeute

(d.h. eine solche, die mit der Spaltung eines beträchtlichen Bruchteiles aller ursprünglich vorhandenen spaltbaren Kerne verbunden ist) zustandekommt, muss die Generationszeit ausserordentlich kurz sein, weil sonst infolge der erreichten Temperaturen von einigen Millionen Grad Celsius das System birst, bevor die Reaktion recht in Gang gekommen ist. In typischen Fällen wird die ganze Kettenreaktion in etwa einer millionstel Sekunde ablaufen müssen. Wie quantitative Untersuchungen (vgl. Anhang 1.1.A1) zeigen, schliesst diese Forderung die Verwendung von Neutronenmoderatoren, welche an sich die kritischen Massen erheblich erniedrigen würden, aus.

Eine der wichtigsten Kenngrössen für die Dimensionierung von Spaltungskernwaffen ist die sogenannte kritische Masse eines bestimmten Spaltstoffes, d.h. diejenige Masse, welche bei vorgegebener Form (meist Kugel oder Zylinder) und bei vorgegebenem Reinheitsgrad gerade ein solches Verhältnis von Oberfläche zu Volumen aufweist, dass $k = 1$ ist. Für die beiden Spaltstoffe U^{235} und Pu^{239} , welche für Spaltungskernwaffen ausschliesslich in Frage kommen, betragen die kritischen Masse m_c für nackte Kugeln aus dem Metall mit der grösstmöglichen Dichte (bei Normaldruck und Normaltemperatur)

$$m_c (U^{235}, \text{nackt}) \approx 50 \text{ kg} \quad (9),$$

$$m_c (Pu^{239}, \text{nackt}) \approx 10,5 \text{ kg} \quad (10).$$

Durch dicke Reflektoren (z.B. aus natürlichem Uran) lassen sich die kritischen Massen reduzieren auf

$$m_c (U^{235}, \text{refl.}) \geq 16,7 \text{ kg} \quad (11),$$

$$m_c (Pu^{239}, \text{refl.}) \geq 4,5 \text{ kg} \quad (12).$$

Als Reinheitsgrad wurde obigen Zahlen im Falle des U^{235} 94%, im Falle des Pu^{239} 100% zu Grunde gelegt (vgl. Anhang 1.1.A2). Für reines U^{235} und reines Pu^{239} sind zwar die kritischen Massen am kleinsten, die Herstellung sehr reiner Spaltstoffe würde indessen zu kostspielig. U^{235} muss nämlich durch komplizierte physikalische Trennverfahren (vgl. 1.2.1) aus dem natürlichen Uran aufkonzentriert oder angereichert werden, wo es im Verhältnis 1:140 mit dem schwereren Uranisotop U^{238} verdünnt vorkommt. Das Pu^{239} seinerseits kann zwar durch chemische, also selektive

Trennverfahren vom Brutstoff U^{238} befreit werden (vgl. 1.2.2). Bei längeren Bestrahlungszeiten des Brutstoffes in den Produktionsreaktoren entsteht aber durch Neutroneneinfang aus dem Pu^{239} in grösseren Mengen das Plutoniumisotop Pu^{240} , das chemisch nicht abgetrennt werden kann und somit als die wesentliche Verunreinigung des erzeugten Pu^{239} zu betrachten ist. Beide Verunreinigungen haben zwei unerwünschte Eigenschaften. Einmal müssen sie durch zusätzlichen Spaltstoff kompensiert werden, wenn der Multiplikationsfaktor, bzw. ein bestimmtes Kaliber der Waffe konstant zu halten ist. Der zusätzliche Spaltstoff-Bedarf beträgt $0,75 \text{ g } U^{235}$ je Gramm U^{238} -Verunreinigung bzw. $0,3$ bis $0,4 \text{ g } Pu^{239}$ je Gramm der Pu^{240} -Verunreinigung (vgl. Anhang 1.1.A2). Wäre dieser Zusatzbedarf an Spaltstoff der einzige Nachteil der Verunreinigung, so wäre der Reinheitsgrad je nach Herstellungsverfahren durch Optimalisierung der Beschaffungskosten für eine kritische Masse aus verunreinigtem Spaltstoff festzulegen. Beide betrachteten Verunreinigungen haben indessen noch einen andern Nachteil, welcher aus rein technischen Gründen einen minimalen Reinheitsgrad von ca. 95% erfordert: U^{238} und Pu^{240} zeigen eine sehr starke Tendenz zur spontanen Spaltung und können deshalb eine verfrühte Zündung, also ein ungewisses Kaliber, bewirken, wenn sie in zu grosser Konzentration vorhanden sind (vgl. 1.1.2.1 und Anhang 1.1.A3). Es ist dieser Gesichtspunkt, welcher für die Auslegung der Uran-Anreicherungsanlagen (vgl. 1.2.1) und den Betrieb der Produktionsreaktoren (vgl. 1.2.2 und 3.2.2) von entscheidender Bedeutung ist.

Die kritischen Massen bestimmen das Minimum an spaltbarem Material, das ganz unabhängig vom Kaliber der Kernwaffe aufgewendet werden muss. Gleichzeitig geben sie, wenn auch in weniger übersichtlicher Weise, eine obere Schranke für das erreichbare Kaliber.

Die thermonukleare Verschmelzungsreaktion ist von der Spaltungskettenreaktion grundverschieden. Bei ihr geht es primär darum, die verschmelzbaren Substanzen auf Temperaturen von einigen 10 Millionen Grad aufzuheizen. Erst bei diesen Temperaturen haben nämlich die Kerne genügend hohe Geschwindigkeiten, um die abstossenden elektrischen Kräfte, welche sich der Verschmelzung entgegensetzen, in genügendem Masse zu überwinden *). Zur Erzeugung beträchtlicher Energien ist es indessen nicht genügend, so hohe Temperaturen zu erreichen. Ebenso wichtig ist die Bedingung, dass ein ausreichender Teil der durch Verschmelzung erzeugten Energie zur weiteren Aufheizung des "Plasma" zur Verfügung steht. Dazu dürfte

*) Dabei spielt der sog. Tunneleffekt noch eine bedeutende Rolle.

nicht nur eine minimale Temperatur erforderlich sein, sondern es sind auch Bedingungen an die Dichte und die Abmessungen des reagierenden Plasmas zu stellen. Es darf angenommen werden, dass eine Vergrösserung der ursprünglich vorhandenen Menge an verschmelzbarem Material im Prinzip vorteilhaft ist, und dass deshalb im Gegensatz zu Spaltungskernwaffen schwer eine obere Grenze der möglichen Kaliber anzugeben ist. Zur Erreichung der für die autokatalytische Verschmelzung erforderlichen Anfangsbedingungen ist sehr wahrscheinlich ein Spaltungszünder unentbehrlich, der mindestens 5% der Energie aufbringt, welche schliesslich bei der Verschmelzung frei wird. Zwar darf angenommen werden, dass mit Hilfe von hochbrisanten Sprengstoffen in Hohlladungen oder fokussierenden Anordnungen Temperaturen erreicht werden, welche die Verschmelzung ermöglichen. Es ist aber sehr fraglich, ob die andern Bedingungen für eine autokatalytische Verschmelzungsreaktion ohne Spaltungszünder ebenfalls erfüllt sind.

1.1.2 Klassifikation der Atomwaffen und Anhaltspunkte über deren Konstruktion

1.1.2.1 Einfache Spaltungsbomben (F = Fission)

Die ersten über Hiroshima und Nagasaki zum Einsatz gekommenen Atomwaffen waren einfache Spaltungsatombomben. Diese sollen hier kurz als "F-Bomben" bezeichnet werden, wo F für "Fission" steht. F-Waffen weisen einen Kern aus den spaltbaren Materialien U^{235} oder Pu^{239} und meist auch einen Reflektor auf. Die erforderliche Mindestmenge an spaltbarem Material wird durch die kritische Masse bestimmt, welche in Abschnitt 1.1.1 für beide Materialien mit und ohne Reflektor angegeben ist. Je nach zulässigem Gesamtgewicht und gewünschtem Kaliber werden die Abmessungen und Gewichte des spaltbaren Kerns und des Reflektors stark variieren. Je grösser der Ueberschuss der Spaltstoffmasse über die kritische Masse und je dicker der Reflektor ist, umso grösser wird auch das Kaliber sein. So dürfte z.B. das Gesamtgewicht von kleinkalibrigen Geschossen (kleiner als 1 kt*) um 50 kg betragen, wogegen die ersten Atombomben mit einem Energieäquivalent von rund 20 kt ein Gewicht von mehreren Tonnen aufwiesen.

*) Es ist allgemein üblich, das Kaliber von Atombomben in kt anzugeben. Dieser Einheit liegt der Vergleich der Sprengkraft mit derjenigen chemischer Sprengkörper zugrunde, wobei als Standardsubstanz Trinitrotoluol (TNT) angenommen wird. Eine Atombombe vom Kaliber einer kt TNT-Äquivalent besitzt also die gleiche Sprengkraft wie 1'000 Tonnen TNT. Dies entspricht etwa 10^4 kcal und erfordert die Spaltung von $1,6 \cdot 10^{23}$ Kernen oder rund 60 g des spaltbaren Materials.

Vor dem Einsatz der F-Waffen muss auf irgendeine sichere Art verhindert werden, dass das spaltbare Material ein überkritisches System bildet. Dies dürfte auf drei verschiedene Arten zu erreichen sein, nämlich durch Aufteilung in zwei oder mehr unterkritische Teilmassen, durch Wahl einer ungünstigen Form oder Dichte und schliesslich durch Vergiftung mit einem leicht zu entfernenden Neutronenabsorber. Für die Zündung stellt sich dann das wesentliche und nicht immer leicht zu lösende Problem, den gewünschten prompt überkritischen Zustand in so kurzer Zeit zu erreichen, dass die Wahrscheinlichkeit für den Einsatz einer wirklich anwachsenden Kettenreaktion in der Uebergangsphase verschwindend klein ist.

Im Falle hochangereicherten Urans beträgt die mittlere Wartezeit für das Einsetzen der wirklich wachsenden Kettenreaktion einige Zehntel Sekunden, so dass z.B. unterkritische Teilmassen mit verhältnismässig einfachen Mitteln wie z.B. Federn, zusammengefügt werden können. Plutonium hingegen enthält wegen des schon aus ökonomischen Gründen üblichen Herstellungsverfahrens durch Brüten von U^{238} in Kernreaktoren stets soviel Pu^{240} , dass die spontane Spaltrate wesentlich höher ist als beim Uran mit der üblichen Anreicherung von $\sim 95-99\%$. Dementsprechend muss die überkritische Masse in etwa 10'000 mal kürzerer Zeit, nämlich einigen Hundertstel Millisekunden, erstellt werden, ansonst die Spaltungskettenreaktion in einem durch Zufall bestimmten Zwischenstadium ablaufen und daher ein ganz ungewisses Kaliber aufweisen würde. (vgl. Anhang 1.1.43) Bei Plutoniumbomben wird man deshalb für die Zündung Sprengstoffe anwenden müssen. Ein bekanntes Verfahren ist z.B. die Kompression einer ursprünglich unterkritischen Kugel oder Hohlkugel durch eine konzentrische Implosion mit Hilfe einer Hohlraumladung aus konventionellem Sprengstoff.

Ist der gewünschte prompt überkritische Endzustand erreicht, und hat die divergente Spaltungskettenreaktion einmal eingesetzt, dann verläuft die atomare Explosion äusserst schnell. Es wird geschätzt, dass nackte oder schwach reflektierte F-Bomben aus U^{235} bzw. Pu^{239} mit einem Kaliber von 1 kt TNT-Aequivalent in ungefähr 30 Mikrosenkunden bzw. 3 Mikrosekunden (Halbwertsbreite des Explosionsimpulses) ablaufen (vgl. Anhang 1.1.43). Diese Zeiten dürften sich etwa umgekehrt proportional mit dem Kaliber ändern. Was in dieser Zeit im Bombenkörper und in einigen Metern Abstand davon geschieht, ist ausserordentlich kompliziert. Es möge hier nur angedeutet werden, dass dort Temperaturen von der Grössenordnung einer Million Grad Celsius erreicht werden, und dass die Materie

ihre Form vollständig ändert: es entsteht ein Plasma, in dem ein grosser Teil der Elektronen aus dem Atomverband losgelöst werden. Die frei werdende Energie wird dabei durch verschiedene Effekte an die weitere Umgebung übertragen, nämlich durch Druck (50%), thermische Strahlung (35%), prompte Kernstrahlung (5%) und verzögerte Kernstrahlung (10%).

1.1.2.2 Zweistufige oder "saubere" Wasserstoffbomben (FF = Fission-Fusion)

Unter einer "sauberen" Wasserstoffbombe versteht man das Konzept einer solchen Kernwaffe, welche bezweckt, durch Ausnutzung der Verschmelzungsreaktionen (4) bis (8) möglichst viel Energie freizulegen, ohne viel bleibende Verseuchungen durch Spaltprodukte oder aktivierte Konstruktionsmaterialien zu hinterlassen. Es ist bekannt, dass unter allen Verschmelzungsprozessen derjenige von Deuterium und Tritium nach der Reaktionsgleichung (5) mit den tiefstmöglichen Temperaturen, nämlich solchen von der Grössenordnung 50 - 100 Millionen Grad Celsius, zu erreichen ist. Um eine genügende Menge der zu verschmelzenden Elemente auf kleinem Raum zu konzentrieren und damit dem ganzen thermonuklearen Sprengkopf ein tragbares Volumen und Gewicht zu geben, muss der Ausgangsstoff in flüssiger oder fester Form vorliegen. Nun sind aber beide Elemente erst bei Temperaturen von ca. -250°C , d.h. etwa 20°C über dem absoluten Nullpunkt, zu verflüssigen. Es ist daher sehr unwahrscheinlich, dass Bomben mit praktisch akzeptablem Volumen und Gewicht mit flüssigem Wasserstoff arbeiten. Viel naheliegender ist die Annahme, dass die chemische Verbindung Lithium - (6) - Deuterid (Li^6D^2) Verwendung findet, die bei Raumtemperatur fest ist. Das für die Verschmelzung bei den erwähnten, nicht übermässig hohen Temperaturen benötigte T_1^3 wäre dann nach der Reaktionsgleichung (4) zu erzeugen, wogegen das D_1^2 schon vorhanden ist. Daraus erkennt man, dass für die Zündung von "Feststoff"-Wasserstoffbomben ein Zünder erforderlich ist, der erstens die Reaktion (5) durch Neutronenbeschuss in Gang bringt und der zudem einen genügend grossen Bruchteil der zu verschmelzenden Kerne auf die Temperatur von einigen 10 Millionen Grad aufheizt. Es kann mit grosser Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass hierzu ein Spaltungszünder in Form einer F-Bombe unumgänglich ist. Diese Annahme wird insbesondere durch die Experimente zur friedlichen Anwendung von Kernexplosionen (z.B. MIKE) bekräftigt. Ueber dieselben sind einige wesentliche Informationen freigegeben worden, und unter anderem konnte man erfahren, dass zur Zündung der betreffenden Wasserstoffbombe mit einem Kaliber von 1 Mt ein Spaltungszünder mit dem Kaliber von 40 - 50 kt verwendet wurde.

In Anbetracht des ungünstigen Verhältnisses zwischen Aufwand und Wirkung darf angenommen werden, dass saubere Wasserstoffbomben militärisch gesehen von sehr beschränktem Wert sind, wenn man von einer speziellen Modifikation absieht, welche als "Neutronenbombe" bekannt geworden ist. Ueber die letztere liegen noch keine genügend gesicherten Informationen vor, um ihre Funktion im Rahmen dieses Berichtes erläutern zu können.

1.1.2.3 Dreistufige oder "schmutzige" Wasserstoffbomben (FFF = Fission-Fusion-Fission)

Es wird zur guten Ausnutzung des teuren Ausgangsmaterials für die Verschmelzungsreaktion notwendig sein, Wasserstoffbomben in einen dicken, schweren Mantel einzuschliessen, der ein frühzeitiges Bersten verhindert. Es ist nun naheliegend, hierfür das schwere Metall Uran zu verwenden, das in abgereicherter Form sozusagen als Abfall von den Anreicherungsanlagen erhältlich ist. Ein solcher Mantel weist nun noch ganz besondere nukleare Eigenschaften auf. U^{238} ist nämlich nach der Reaktionsgleichung (3) durch schnelle Neutronen spaltbar. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die vielen in der thermonuklearen Verschmelzung entstandenen Neutronen nochmals zur weiteren Energieerzeugung auszunutzen. Erhält man gemäss Gleichung (5) bei der Verschmelzung mit einer Energieerzeugung von rund 20 MeV ein schnelles Neutron, so kann dieses in einem Uranmantel durch eine Spaltung nach der Reaktionsgleichung (3) weitere 200 MeV erzeugen. Man erkennt also, dass ein schwerer, dicker Uranmantel nicht nur die Ausnutzung des verschmelzbaren Materials verbessert, sondern gleich noch die Energieausbeute pro Verschmelzung um einen Faktor 10 vergrössert. Da man bei einer thermonuklearen Kriegführung, die wesentlich strategische Ziele verfolgt, auf eine möglichst grosse Wirkung pro Gewichtseinheit (und Kosteneinheit) kaum zu verzichten gewillt ist, folgt zwangsläufig die Hinfälligkeit der "sauberen" Wasserstoffwaffen mit Ausnahme der "Neutronenbombe".

1.3 Bemerkungen zu den möglichen Waffenträgern

Als mögliche Waffenträger kommen grundsätzlich Flugzeuge, Raketen, Artilleriegeschosse und vielleicht sogar Bazookaähnliche Geschütze in Frage. Es stellt sich nun das Problem, zumindest die Einschränkungen zu erkennen, welche man sich aus rein waffentechnischen Gründen zu auferlegen hat, wenn man die Einsatzmittel für bestimmte Atomwaffen wählt, bzw. die günstigste Atomwaffe für ein bestimmtes Einsatzmittel sucht.

In Bezug auf die Eigenschaften der Waffenträger hat man folgende Punkte zu berücksichtigen:

- a. Tragfähigkeit
- b. Nutzraum nach Form und Inhalt
- c. Reichweite und Scheitelhöhe der Flugbahn
- d. Treffsicherheit und Zuverlässigkeit
- e. Transportgeschwindigkeit, insbesondere im Moment der Zündung
- f. Beweglichkeit des Einsatzmittels

Was die verschiedenen Atomwaffen betrifft, kann man folgende Eigenschaften und Anforderungen unterscheiden:

- a. Gewicht
- b. Abmessungen
- c. Kaliber und Streuung desselben
- d. Flexibilität in der Wahl des Kalibers und des relativen Anteils der Primärstrahlung
- e. Streuung des Zündzeitpunktes
- f. Sicherheit während Lagerung und Abschuss sowie unter Feindeinwirkung.

Da man in der Schweiz noch nicht über genügend Unterlagen verfügt, kann man im gegenwärtigen Zeitpunkt keine bestimmten Empfehlungen in Bezug auf die Korrelation zwischen Waffentyp und Waffenträger aufstellen. Es kann sich also lediglich darum handeln, gewisse Möglichkeiten, über welche zwar Grossmächte verfügen mögen, denen sich aber in unserem Lande auf absehbare Zeit unüberwindliche Hindernisse in den Weg stellen, auszuschliessen. Weiter können einige Hinweise auf Konzepte gegeben werden, welche aufgrund der uns bekannten Prinzipien und Daten eine besonders einfache Verwirklichung als möglich erscheinen lassen.

Auszuscheiden sind für die nächste Zeit Wasserstoffbomben, da ihre Entwicklung sehr hohe Anforderungen stellt, welche die Möglichkeiten eines Kleinstaates übersteigen. Sie verlangen erstens die Beschaffung von Spaltungszündern und die gute Kenntnis der wesentlichen Charakteristiken derselben, zweitens benötigen sie sehr kostspielige Ausgangsstoffe, drittens sind sie sehr wahrscheinlich mit einem grossen theoretischen und experimentellen Entwicklungsaufwand verbunden und viertens schliesslich, werden grosskalibrige Wasserstoffwaffen vermutlich so schwer (nach jugoslawischen Schätzungen ca. 5 t), dass wir über keine angemessenen Waffenträger

verfügen. Die Undurchführbarkeit überirdischer Versuchsexplosionen in der Schweiz und die Gefährdung von Staumauern durch die Erschütterungen im Gefolge von grosskalibrigen unterirdischen Explosionen - nach amerikanischen Quellen sollen unterirdische Versuche überhaupt nur bis zu wenigen Megatonnen TNT-äquivalent möglich sein - stellen weitere Hindernisse für die eventuelle Eigenentwicklung von Wasserstoffwaffen dar.

Unter den F-Waffen, also Spaltungsbomben und -Geschossen bleiben grundsätzlich 4 Varianten offen, entsprechend der Kombination von zweierlei Spaltstoffen und zwei extremen Möglichkeiten in Bezug auf die Reflexion. Aufgrund vereinfachender Annahmen über den Reaktionsmechanismus, deren Gültigkeit plausibel, jedoch nicht einwandfrei nachgewiesen ist, konnten für die vier Varianten die minimal erforderlichen Spaltstoffmengen, sowie die Zusatzmengen pro kt Energieäquivalent, gültig bis zu einer jeweiligen Grenze, abgeschätzt werden (vgl. Anhang 1.1.A2). Diese Zahlenwerte und die daraus resultierende Beurteilung der möglichen Einsatzmittel finden sich in der Tabelle auf Seite 16.

Die offensichtlich günstigere Beurteilung der Möglichkeiten von F-Waffen mit U^{235} als Spaltstoff hängt eng damit zusammen, dass die Zündungsprobleme bei diesen Waffen wesentlich einfacher sind als im Falle von ähnlichen Waffen mit Pu^{239} als Spaltmaterial. Es besteht kein Zweifel, dass Grossmächte, welche über ausgedehnte Produktionsanlagen verfügen und grosse Mengen des einen oder andern Spaltstoffes benötigen, für viele Anwendungszwecke auf Plutonium zurückgreifen. Sie können dies nicht zuletzt auch deshalb tun, weil sie durch ausgedehnte theoretische und experimentelle Untersuchungen die Sprengtechnik zur Zündung von Pu-Waffen bis ins Detail beherrschen. Die Notwendigkeit zur Durchführung ausgedehnter Versuchsreihen dürfte besonders für schweizerische Verhältnisse in der heutigen Zeit eine ernsthafte Erschwerung der Beschaffung von Spaltatomwaffen aus Plutonium darstellen.

1.2 Produktion des Spaltstoffes

1.2.1 Die Herstellung von hochangereichertem Uran

Das Natururan besteht zu 99,3% aus dem Uranisotop-238 und nur zu 0,7% aus dem Uranisotop-235. Wie in Abschnitt 1.1 dargelegt wird, benötigt man zur Herstellung von Atomwaffen ein Uran, in welchem das Uranisotop-235 zu ca. 95% enthalten ist. Solches, hochangereichertes Uran kann mit Hilfe einer Reihe von Verfahren,

(Fortsetzung Seite 17)

Typ	U ²³⁸ -Reflektor (kg)	Min. Spalt- stoffmasse (kg)	Zusatzmasse pro KT (kg)	Kaliber- bereich **)	Einsatzmöglichkeiten ***)		
					Art.	Rak.	Fl. Bb.
U ²³⁵ , nackt	---	50	0,040	0-170 KT	M	M, T	M, T
U ²³⁵ , 7 cm Reflektor	(120)	(22,8)	(0,035)	(0-70 KT)	U	M	M
U ²³⁵ , 23 cm Reflektor	1900 *	16,7	0,032	0-50 KT	U	U	U
Pu ²³⁹ , nackt	---	10,5	0,048	0-40 KT	M, Z	M, Z	M, Z
Pu ²³⁹ , 7,6 cm Reflektor	(100)	(7,1)	(0,046)	(0-30 KT)	U	M, Z ²	M, Z ²
Pu ²³⁹ , 24 cm Reflektor	1900 *	4,5	0,045	0-20 KT	U	U	U

*) Ein 25 cm dicker Reflektor darf praktisch als unendlich dick in dem Sinne angenommen werden, dass eine weitere Zunahme der Reflektordicke keine weitere Reduktion der notwendigen Spaltstoffmassen bewirkt. Leider sind präzise Angaben nur für so dicke Reflektoren verfügbar. Es darf aber angenommen werden, dass auch wesentlich leichtere Reflektoren eine beträchtliche Reduktion des Spaltstoffbedarfes gegenüber einem nackten System bewirken (vgl. Schätzungen in Klammern).

**) Diese Kaliberbereiche garantieren unter den getroffenen Annahmen den linearen Zusammenhang zwischen Kaliber und Zusatzmasse. Es wäre durchaus denkbar, noch grössere Kaliber zu erreichen, wenn verhältnismässig mehr Spaltstoff aufgewendet würde. Andererseits ist aber zu befürchten, dass die vereinfachten Annahmen die hier zusammengestellten Spaltstoffmassen für ein vorgegebenes Kaliber eher tief erscheinen lassen, so dass man doch nicht mit viel grösseren Kalibern rechnen sollte als in dieser Kolonne angegeben sind.

***) Zeichenerklärung der Spalte über Einsatzmöglichkeiten:

Art. = Artillerie, mit max. 70 kg schweren Geschossen mit 175 mm ϕ (Kaliber bis 5 KT)

Rak. = "Sergeant" Raketen mit max. 730 kg Tragkraft (Kaliber bis 20 KT)

Fl. Bb. = Fliegerbomben von max. 1000 kg (2x500 kg) (Kaliber bis 100 KT) / Gewicht für Einsatz mit "Mirage"

M = Möglich

U = Unmöglich

M, T = Möglich, aber teuer bzw. unökonomisch

M, Z = Möglich, aber von der Lösung schwieriger Zündungsprobleme abhängig

M, Z² = Möglich, aber von der Lösung sehr schwieriger Zündungsprobleme abhängig

welche die verschiedenen Isotopieeffekte ausnutzen, hergestellt werden (s. Anhang 1.1.A4). Unter Isotopie-Effekten versteht man die zusammenfassende Bezeichnung aller Erscheinungen, welche darauf beruhen, dass bei jedem Element mehrere Isotope existieren. Sie treten grundsätzlich überall dort auf, wo die Massen (Atomgewichte) der einzelnen Atome im Spiele sind.

Als im Rahmen des Manhattanprojektes *) grössere Mengen von Uran-235 erzeugt werden mussten, bedienten sich die Amerikaner anfänglich der dazumal bereits gut entwickelten Massenspektrographen. In den Massenspektrographen werden die Uranatome durch Erhitzen in elektrisch geladene Teilchen (Ionen) umgewandelt. Die Ionen verlassen den "Verdampfungsraum" mit annähernd gleichen Geschwindigkeiten durch einen schmalen Spalt, wodurch ein eng gebündelter Ionenstrahl entsteht. Dieser Ionenstrahl wird einem homogenen Magnetfeld ausgesetzt, wodurch die Ionen auf Kreisbahnen abgelenkt werden, deren Radien proportional zu den Quadratwurzeln aus ihren Massen sind. Die Kreisbahn, auf welche das Uranisotop-235 abgelenkt wird, weist also einen kleineren Radius auf, als jene des Uranisotops-238, wodurch eine Trennung möglich wird. Physikalische Störeffekte führen jedoch bei dieser Methode zu Begrenzungen, so dass sie sich in dieser einfachen Form nicht zur Erzeugung von grösseren Mengen (kg) von Uran-235 eignet. Auch die in der Folge entstandenen verbesserten Apparate (z.B. CALUTRON) werden zur Zeit nicht mehr zur Herstellung von grösseren Mengen (kg) von Uran-235 verwendet.

Heute wird von allen Atomgrossmächten zur Anreicherung des Natururans (s. Anhänge 3.2.A1, 3.2.A2) mit dem Uranisotop U-235 das Gasdiffusionsverfahren verwendet. Beispielsweise sei erwähnt, dass in den USA im Jahre 1956 mit Hilfe dieses Verfahrens 70 t auf 90% im Isotop U-235 angereichertes Uran produziert wurden. Die Methode beruht auf dem bereits im Jahre 1857 von Bunsen entdeckten Effekt, wonach die Ausströmgeschwindigkeiten von Gasen, welche durch eine Düse strömen, umgekehrt proportional den Quadratwurzeln aus den Molekulargewichten sind, wodurch die Möglichkeit der Isotopentrennung gegeben ist. In den Grossanlagen lässt man gasförmiges Uranhexafluorid durch feinporige Membranen diffundieren, was zur Folge hat, dass in der diffundierten Fraktion das Uranhexafluorid um etwa einen Faktor 1,0014 an Uran-235 angereichert ist. Durch Vervielfachung dieses Einzeleffektes in einer Kaskadenschaltung kann Uran mit dem für die Waffenfabrikation notwendigen Anreicherungsgrad gewonnen werden.

*) Deckname, der während des zweiten Weltkrieges von den Amerikanern für ihre Atomwaffenentwicklung und -produktion verwendet wurde.

Beim Tremdöisenverfahren werden an Stelle der porösen Membranen eigentliche Döisen verwendet. Dieses Verfahren ist erst in neuester Zeit weiter entwickelt worden.

Eine Methode, welche zur leichten Anreicherung von Uran in den USA grosstechnisch verwendet worden ist, um die Kapazität der Gasdiffusionsanlagen erhöhen zu können, beruht auf dem von Clusius entdeckten Prinzip der Thermodiffusion. Wird ein Isotopengemisch in flüssiger oder gasförmiger Form in ein Gefäss eingeschlossen, welches eine wärmere und eine kältere Wand aufweist, so wandern die schweren Moleküle nach den Stellen tieferer Temperatur. Zufolge thermischer Konvektion strömt das kalte Gas an der kalten Wand abwärts und das heisse an der warmen Wand aufwärts, sodass die Isotopen getrennt werden können.

In jüngster Zeit sind auf dem Gebiete der Isotopentrennung mit Hilfe von Zentrifugen grosse Fortschritte erzielt worden (s. Anhänge 3.2.A1, 3.2.A2 und 3.2.A3). Wird ein Gas, das verschieden schwere Moleküle enthält, einem Gravitationsfeld, wie es in der Zentrifuge erzeugt werden kann, ausgesetzt, so konzentrieren sich die schwereren Moleküle in Richtung des Feldes. Im Falle der Uranisotopentrennung lassen sich in einem Durchgang durch eine einzelne Zentrifugenstufe Anreicherungsgrade erreichen, welche wesentlich grösser sind, als wie bei einer einzelnen Stufe des Gasdiffusionsverfahrens. Dadurch wird es möglich, besonders wenn man das Uran mehrmals zirkulieren lässt, in relativ kleinen Anreicherungsanlagen, welche zur Erzeugung einer bestimmten Menge von hochangereichertem Uran nur ca. 10% der beim Gasdiffusionsverfahren notwendigen elektrischen Energie benötigen, solches Material herzustellen.

Im Anhang 1.1.A4 werden die verschiedenen Verfahren zur Herstellung von hochangereichertem Uran etwas näher beschrieben. Aus den Anhängen 3.2.A1 und 3.2.A2 geht hervor, dass für schweizerische Verhältnisse nur das Zentrifugenverfahren in Frage kommt.

1.2.2 Allgemeines zur Erzeugung von Plutonium-239

Plutonium-239 entsteht gleichsam als Nebenprodukt in allen Reaktoren, welche Uran-238 enthalten. Insbesondere bildet es sich in grossen Mengen in den mit Natururan betriebenen Reaktoren. In diesen Reaktoren wird primär das im Natururan zu 0,7% vorhandene Uran-235 durch abgebremste, sogenannte thermische Neutronen gespalten,

wodurch Energie frei wird. Der Rest des Natururans (99,3%) besteht aus dem durch langsame Neutronen nicht spaltbaren Uran-238. Dieses fängt Neutronen ein und wandelt sich in der Folge durch radioaktiven Zerfall in das Plutonium-239 um. Das Plutonium 239 kann mit Hilfe chemischer Methoden vom restlichen Uran abgetrennt und zur Waffenfabrikation verwendet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass sich neben dem Plutonium-239 auch höhere Plutoniumisotope, insbesondere das Plutonium-240 bilden. Das Plutonium-240 emittiert spontan Neutronen, welche beim Zünden der Waffen einen dominierenden Einfluss ausüben (1.1.2.1, sowie Anhang 1.1.A3). Man hat deshalb dafür Sorge zu tragen, dass in dem in Reaktoren erzeugten Plutonium-239 nicht zu viel Plutonium-240 aufgebaut wird. Dies bedingt, dass das Uran (Spaltstoffelemente) nicht derart lange im Reaktor belassen werden darf, wie dies im Sinne einer ökonomischen Energieerzeugung anzustreben wäre. Im Falle von Spaltstoffelementen, welche das Uran in metallischer Form enthalten, beträgt die zulässige Aufenthaltszeit der Uranelemente im Reaktor nur etwa 15 - 25 % der im Falle der ausschliesslichen Energieerzeugung erreichbaren Benutzungsdauer. Ferner ist zu erwähnen, dass bei modernen Reaktoren, welche zur Elektrizitätserzeugung ausgelegt und gebaut werden, die Spaltstoffelemente meistens nicht mehr aus metallischem Uran, sondern aus keramischem Material, Oxyden oder Karbiden, bestehen. Bei diesen Reaktoren würde sich die zulässige Benutzungsdauer der Spaltstoffelemente im Vergleich zum wirtschaftlich sinnvollen Einsatz auf etwa 7% reduzieren. Die heute gegenüber früher wesentlich bessere Ausnutzung des Urans bei der Elektrizitätserzeugung mit Hilfe der Atomenergie hat naturgemäss dazu geführt, dass bei Kraftwerkreaktoren bedeutend mehr Kapital in die einzelnen Spaltstoffelemente investiert wird, als dies bei den zur Plutoniumfabrikation konstruierten Spaltstoffelementen der Fall ist.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass Reaktoren zur Erzeugung von Plutonium, welches sich für die Waffenfabrikation eignet, speziell als Produktionsreaktoren ausgelegt werden müssen, wobei die anfallende Energie als Nebenprodukt zu betrachten ist. Beispielsweise liefern die speziell zur Plutoniumfabrikation gebauten französischen Reaktoren G2 und G3 bei einer thermischen Leistung von heute je 240 MW, neben je ca. 50 kg Waffenplutonium pro Jahr nur je 37 MW an elektrischer Energie. In diesem Zusammenhang ist noch zu erwähnen, dass die thermische Energie, welche bei den amerikanischen Plutoniumreaktoren in Hanford anfällt, gar nicht verwertet, sondern ungenutzt mit dem Kühlwasser abgeführt wird.

2. Grundausrüstung der Armee an Kernwaffen

Um die gewünschte Grundausrüstung an Kernwaffen annähernd bestimmen zu können, wurde im Rahmen der Generalstabsabteilung über den Sinn und Zweck einer eventuellen Atombe-
waffnung diskutiert. Es stellte sich vor allem die grundsätzliche Frage, ob eigene Kern-
waffen in erster Linie dem taktischen, operativen oder strategischen Einsatz dienen
sollen.

2.1 Festlegung von 3 Bewaffnungsstufen

2.1.1 Bedürfnis nach einer strategischen Abschreckungs- resp. Vergeltungswaffe (Stufe Armee)

Die Meinungen gingen auseinander, ob Atomwaffen zur taktischen und operativen
Verwendung unser Abschreckungspotential bereits in entscheidender Weise erhöhen,
oder ob strategische Kernwaffen notwendig sind, um der Erpressung durch nukleare
Terrorwaffen des Feindes zu entgehen.

Zu Gunsten der strategischen Abschreckungswaffe wurden vor allem drei Argumente
ins Feld geführt:

- Solange der potentielle Gegner ohne jede Furcht vor Vergeltung Volk und
Regierung mit grosskalibrigen Terrorwaffen einschüchtern kann, sind klein-
kalibrige Atomwaffen mit beschränkter Reichweite von geringem Interesse, da
ihr Gewicht nicht in die Waagschale fällt.
- Nur eine eigene strategische Abschreckungswaffe verleiht unserem Staat die
erwünschte Autonomie und die notwendige Sicherheit; denn die Hilfe fremder
Regierungen ist ungewiss und muss stets mit einem hohen politischen Preis er-
kauft werden. Nukleare Unterstützung wird nur zugestanden, wenn lebenswichtige
Interessen der "Schutzmacht" auf dem Spiele stehen.
- Ca. 30 Nuklearwaffen à 1 MT, die durch Flugzeuge oder Mittelstreckenlenkwaffen
auf industrielle und demographische Ziele im feindlichen Hinterland eingesetzt
werden, würden genügen, um dem potentiellen Gegner Schäden zuzufügen, die
stärker ins Gewicht fallen als der von ihm erhoffte Kriegsgewinn.

Gegen eine eigene strategische Abschreckungswaffe erhoben sich verschiedene Bedenken:

- Die Zerstörung von Industrie- und Bevölkerungszentren widerspricht der schweizerischen Gesinnung, den allgemeinen Grundsätzen des Kriegsrechtes wie auch dem Geist der Genfer Konvention über den Schutz der Zivilbevölkerung. Sie könnte sich politisch nachteilig für uns auswirken.
- Im Rahmen eines allgemeinen Krieges spielt das kleine Vergeltungspotential der Schweiz eine untergeordnete Rolle. Auch profitieren wir indirekt von der Wirkung der strategischen Kernwaffeneinsätze der potentiellen Verbündeten, indem die Nachschublinien des Angreifers unterbrochen werden, und seine Luftwaffe schwere Verluste erleidet.
- Ob unsere Flugzeuge und Mittelstreckenraketen trotz der feindlichen Luftabwehr ihre Ziele über Entfernungen von 1000-2000 km erreichen könnten ist ungewiss.
- Da eine Präventivaktion für die Schweiz nicht in Frage kommt, führt der Gegner den ersten Schlag. Eine eigene strategische Vergeltungswaffe wirkt deshalb nur abschreckend, wenn das Gros unserer Abschussmittel den ersten feindlichen Atomangriff zu überleben vermag. Die Grossmächte gewährleisten den Schutz ihrer Waffenträger einerseits durch eine ausserordentliche Beweglichkeit (Mittelstreckenlenk Waffen, abgeschossen von atomangetriebenen Unterseebooten im Tauchzustand oder von Flugzeugen, von denen sich stets ein Teil in der Luft befindet oder später über Senkrechtstarteigenschaften verfügt) und andererseits durch einbetonierte Stellungen. Die Standorte der wenigen schweizerischen Waffenträger könnten wohl kaum verheimlicht werden, so dass der Schutz in erster Linie durch Verbunkerung und, was die Flugzeuge anbetrifft, durch Senkrechtstarteigenschaften gesucht werden müsste.
- Ganz abgesehen von den Schwierigkeiten, die sich der Beschaffung einer strategischen Mittelstreckenlenk Waffe von 1000-2000 km Reichweite entgegenstellen würden, verschlingt eine strategische Abschreckungswaffe wesentlich mehr Geld als Atomwaffen zu taktischem oder operativem Einsatz. Es ist zu befürchten, dass die Kredite für klassische Streitmittel radikal gekürzt werden müssten. Damit verlöre die Führung die Freiheit zu abgestuftem, der Bedrohung angepasstem Handeln, d.h. sie stünde schon bei feindlichen Angriffen mit konventionellen Mitteln vor der Wahl zwischen der Kapitulation oder der Entfesselung von Gewalten, deren Verwendung durch den Gegner zur Vernichtung unseres Volkes führen könnte.

2.1.2 Atomwaffen zum operativen Einsatz (Stufe Armee und Armeekorps)

Operative Kernwaffeneinsätze richten sich gegen die rückwärtigen Staffeln des Feindes (Hauptquartiere, Flugplätze der taktischen Luftwaffe, Stellungen klassischer und atomarer Artillerie, Bereitschaftsräume mechanisierter Reserven, verletzliche Stellen des feindlichen Verkehrsnetzes, Versorgungslager usw.). Sie erfolgen zu einem beträchtlichen Teil auf ausländischen Boden. Die ausgedehnten Flächenziele und die Waffenstreuung verlangen wenige aber grosse Kaliber sowie weitreichende Zielaufklärungs- und Einsatzmittel.

2.1.3 Atomwaffen zum taktischen Einsatz (Stufe Armeekorps und Division)

Taktische Kernwaffeneinsätze suchen die Entscheidung in enger Anlehnung an die Gefechtsführung unserer Heeresseinheiten durch direkte Unterstützung von Abwehrkämpfen und Gegenangriffen. Sie spielen sich im allgemeinen innerhalb der Landesgrenzen ab, müssen Rücksicht auf die eigenen Truppen und die eigene Zivilbevölkerung nehmen, erfordern zeitraubende Sicherheitsmassnahmen, grosse Anpassungsfähigkeit an besondere Lagen und damit eine Vielzahl kleiner Kaliber. Sie begnügen sich dagegen mit kurzen Reichweiten und einfachem Zielaufklärungsverfahren.

Das Schwergewicht wurde schliesslich auf den operativen Einsatz gelegt und der Ueberlegung Rechnung getragen, dass die Knappheit der Mittel uns dazu zwingt:

- mit dem Einfachsten zu beginnen, um rasch über eine wirkungsvolle Unterstützung zu verfügen,
- die Beschränkung auf wenige Waffentypen anzustreben,
- Waffensysteme zu bevorzugen, die auch mit klassischem Sprengkopf wirtschaftlich sind (Mehrzweckwaffen).

Kernwaffen zum strategischen Einsatz wurden in die Untersuchungen einbezogen, um diese Möglichkeit nicht von vorneherein auszuschalten.

Den Berechnungen des Grössenaufwandes einer Kernwaffenbeschaffung wurden deshalb von der Generalstabsabteilung folgende drei Stufen der Ausrüstung unserer Armee mit Atomsprengekörpern zu Grund gelegt:

- | | | |
|-----------------|---|---|
| <u>1. Stufe</u> | : | 50 Fliegerbomben à 60 - 100 KT (Mirage) |
| <u>2. Stufe</u> | : | 100 Fliegerbomben à 60 - 100 KT |
| | | 50 Artilleriegeschosse à 5 KT (175 mm Kan.) |

3. Stufe : 100 Fliegerbomben à 60 - 100 KT
 100 Artilleriegeschosse à 5 KT
 100 Raketensprengköpfe à 20 KT (Sergeant)

Als Variante wurde auch nach dem Aufwand für 30 Raketensprengköpfe à 1 MT gefragt.

Die festgelegten Zahlen stellen bloss Berechnungsgrundlagen für die Abschätzung des Aufwandes einer Kernwaffenproduktion im Inland dar. Sie präjudizieren die Beschlüsse der zuständigen Behörden in keiner Weise. In einer nächsten Phase soll durch Kriegsspiele und mit Methoden der mathematischen Verfahrensforschung die optimale Zusammensetzung der Kaliber und Waffensysteme gesucht werden.

2.2 Bedarf an Spaltstoffen für die drei Bewaffnungsstufen

Die in der 1., 2. und 3. Stufe verlangten Sprengwirkungen können mit Hilfe der reinen Fission erhalten werden. Um Kaliber von 1 MT zu erreichen, muss der Fusionsvorgang zu Hilfe gezogen werden, wobei die Zündung wahrscheinlich durch eine Fission gemacht werden muss. In der Einleitung wird unter 1.1.3 auf die Anforderungen, welche solche Wasserstoffbomben stellen, kurz eingegangen und festgestellt, dass die Entwicklung solcher Waffen für die Schweiz wegen der damit verbundenen Schwierigkeiten zunächst wohl kaum in Frage kommt. Es wird deshalb im Folgenden verzichtet, auf diese Variante weiter einzutreten.

Der Bedarf an Spaltstoffen für die 3 Bewaffnungsstufen beziffert sich nach Anhang 1.1.1 auf die folgenden Mengen:

<u>Stufe</u>	<u>95% Uran</u>	<u>Plutonium</u>
1	991 kg	447 kg
2	1833 kg (3496)	680 kg (984)
3	<u>2572 kg (4235)</u>	<u>766 kg (1070)</u>
Total	<u>5396 kg (8722)</u>	<u>1893 kg (2501)</u>

Die Zahlen wurden auf Grund der Annahme gerechnet, dass alle Sprengköpfe der verschiedenen Kaliber Platz für einen Reflektor haben. Im Falle des Artilleriegeschosses von 5 KT ist dies fraglich. Deshalb wurden in Klammern die Mengen angegeben die notwendig sind, falls für dieses Kaliber ohne Reflektor ausgekommen werden müsste.

Die Verwendung von hochangereichertem Uran und Plutonium werden in diesem Bericht als sich gegenseitig ausschliessende Alternativen für die schweizerische Atombewaffnung betrachtet. Der Entwicklungs- und Bauaufwand für die Verwirklichung jeder dieser Möglichkeiten ist so gross, dass ihre gleichzeitige Inangriffnahme

für unser Land in nächster Zeit kaum in Frage kommt, abgesehen davon, dass ein solches Vorgehen keinen sehr rationellen Einsatz der Mittel erlauben würde, da die Kosten einer Spaltstoffproduktion sowohl im Falle des Urans, wie auch des Plutoniums mit zunehmenden Mengen nicht einfach proportional ansteigen.

Die Spaltstoffherstellung

Die nachfolgende Tabelle gibt Auskunft über die heute bekanntesten Produktionsverfahren für Spaltstoffe, und speziell für Uraniumdioxid.

Material	Produktion
Uraniumerzkonzentrat	USA, Kanada, Frankreich (in einigen Jahren)
Uranium	Frankreich, Schweden, USA, USSR
Plutonium	Australien, Frankreich, Kanada, Belgien, Portugal, Spanien, Argentinien (Schweden in etwa 3 Jahren), Schweden, USA, USSR

Die Spaltstoffherstellung ist ein sehr komplizierter Prozess, der von den USA und in gewissem Masse von Schweden dominiert wird. Diese Staaten liefern aber nicht nur Spaltstoffe, sondern auch Uraniumerzkonzentrat, welches die Voraussetzung für die Herstellung von Spaltstoffen ist. Die Produktion von Spaltstoffen ist ein sehr wichtiger Bestandteil der Atomenergie, und die Kontrolle über diese Produktion ist ein wichtiger Bestandteil der internationalen Atomenergiekonvention. Die Produktion von Spaltstoffen ist ein sehr wichtiger Bestandteil der Atomenergie, und die Kontrolle über diese Produktion ist ein wichtiger Bestandteil der internationalen Atomenergiekonvention.

Die Spaltstoffherstellung ist ein sehr komplizierter Prozess, der von den USA und in gewissem Masse von Schweden dominiert wird. Diese Staaten liefern aber nicht nur Spaltstoffe, sondern auch Uraniumerzkonzentrat, welches die Voraussetzung für die Herstellung von Spaltstoffen ist. Die Produktion von Spaltstoffen ist ein sehr wichtiger Bestandteil der Atomenergie, und die Kontrolle über diese Produktion ist ein wichtiger Bestandteil der internationalen Atomenergiekonvention.

3. Anforderungen für eine entsprechende Eigenproduktion von Spaltmaterial

3.1 Beschaffung des Ausgangsmaterials

3.1.1 Ausländische Quellen

Die nachfolgende Tabelle gibt Auskunft über die heute bekannten Produzenten von Spaltstoffen und speziellem nuklearem Material

Material	Produzenten
hochangereichertes Uran	Grossbritannien, USA, USSR (Frankreich in einigen Jahren)
Plutonium	Frankreich, Grossbritannien, USA, USSR
Natururan	Australien, Frankreich, Kanada, Madagaskar, Portugal, Spanien, Argentinien, (Schweden in etwa 2 Jahren), Südafrika, USA, USSR

Sowohl hochangereichertes Uran, als auch Plutonium können von den USA und in geringen Mengen von Grossbritannien gekauft werden. Diese Staaten liefern aber solche Spaltstoffe nur auf Grund einer Garantieerklärung, welche die Verwendung der erhaltenen Materialien für ausschliesslich friedliche Zwecke zusichert. Zudem behalten sie sich ein Kontrollrecht vor, damit sie die Einhaltung der Garantie überprüfen können. Frankreich, dessen Regierung weniger restriktiv in Bezug auf die Verwendung der Materialien französischen Ursprungs zu sein scheint, verfügt vorläufig erst über eine kleine Plutoniumproduktion, die kaum für seinen eigenen Bedarf ausreicht. Auch die bestehenden internationalen Organisationen, die eventuell für die Lieferung von angereichertem Uran oder Plutonium in Frage kämen, knüpfen an die Abtretung des Spaltmaterials die Bedingung der friedlichen Zweckverwendung und verlangen ein Inspektionsrecht. Aus diesem Grunde müsste sehr wahrscheinlich der für eine schweizerische Atomwaffenproduktion notwendige Spaltstoff in der Schweiz hergestellt werden.

Ausgangsmaterial sowohl für das hochangereicherte Uran, wie für das Plutonium ist das Natururan. Zu den grössten Produzenten dieses Materials sind die USA, Kanada, Südafrika, Australien und Frankreich zu rechnen. Offiziell verkünden die Regierungen dieser Länder, dass sie Uran nur für friedliche Zwecke exportieren. Ohne entsprechende Sondierungen ist es schwierig zu beurteilen, ob solche Erklärungen als unbedingt bindend zu betrachten sind. Dem Bund ist es 1955 gelungen, etwa 8 to

Natururan zum Teil in metallischer Form, zum Teil als Oxyd, ohne die Verpflichtung zur Verwendung für ausschliesslich zivile Zwecke von Belgien zu erhalten. Deshalb kann die Möglichkeit ähnlicher auch grösserer Lieferungen nicht vollständig ausgeschlossen werden. Besonders in Anbetracht des heutigen Ueberangebotes von Natururan könnte vielleicht in den nächsten Jahren das erforderliche Natururan (etwa 1000 to für die Lösung mit hochangereichertem Uran, 4000 to für diejenige mit Plutonium) zu sehr vorteilhaften Preisen beschafft und gelagert werden. Ein solcher Vorrat könnte später, falls er nicht für militärische Zwecke benötigt wird, wahrscheinlich sehr günstig für zivile Zwecke eingesetzt werden. Zu den heutigen Weltmarktpreisen (ca. \$ 5 / lb U_3O_8) würde ein solcher Vorrat etwa 48 Mio.Fr. bzw. 192 Mio.Fr. kosten und keine grossen Lagerprobleme stellen. Am sichersten erscheint eine eigene Uranproduktion auf der Basis ausreichender schweizerischer Vorkommen. Eventuell kommt auch die Ausbeutung von entsprechenden Lagerstätten in Entwicklungsländern in Frage. In den ehemaligen französischen Kolonien in Afrika können beispielsweise auf Grund der bereits durchgeführten Prospektionsarbeiten grössere Vorkommen vermutet werden, die vorläufig wegen der gegenwärtigen ungenügenden Nachfrage auf diesem Markt nicht abgebaut werden. Es wäre denkbar, dass mit solchen Ländern Abmachungen getroffen werden können, welche einer schweizerischen Gesellschaft die Auswertung solcher Vorkommen für die Bedürfnisse unseres Landes gestatten würden.

3.1.2 Eigenproduktion von Natururan

Einfacher würde sich die Lage gestalten, wenn in der Schweiz selbst genügende Uranvorkommen ausgebeutet werden könnten. Schon seit einiger Zeit werden bei uns entsprechende Prospektionsarbeiten mit allerdings bescheidenem Aufwand durchgeführt. Namentlich haben sich der "Arbeitsausschuss zur Untersuchung schweizerischer Mineralien und Gesteine auf Atombrennstoffe und seltene Elemente", die "Studien-gesellschaft für die Nutzbarmachung schweizerischer Lagerstätten mineralischer Rohstoffe", die Uran AG, die Eisenbergwerke Gonzen und einige im Wallis tätige Kraftwerkskonsortien an der Suche nach Uranlagerstätten beteiligt. An verschiedenen Orten in der Schweiz, so im Emmental, auf der Müritschenalp im Kanton St. Gallen, im Vorderrheintal und im Wallis, sind Indikationen für solche Vorkommen bereits entdeckt worden. Die bisherigen Resultate dieser Arbeiten reichen jedoch nicht aus, um den Umfang, die Güte und allgemein die Abbauwürdigkeit der an den erwähnten Orten vermuteten Lagerstätten beurteilen zu können. Die hiefür not-

wendigen Abklärungen umfassen ausgedehnte Schürfungen mit Hilfe von Stollen und Bohrungen in der Umgebung von Fundorten uranhaltigen Gesteins und die Extraktion des Urans aus Probemengen des bei diesen Arbeiten anfallenden Materials. Nur so kann man zuverlässige Angaben über den möglichen Umfang und die Wirtschaftlichkeit einer eigenen Uranproduktion erhalten.

Nach Angaben der wichtigsten vier Uranprospektionsgruppen sind für die Abklärung der Abbauwürdigkeit der bedeutsamsten bisher gefundenen Indikationen mindestens 3 Mio.Fr. notwendig, die sich wie folgt verteilen:

Wallis	ca. 1 Mio.Fr.
Emmental	ca. 1 Mio.Fr.
Graubünden	ca. 0,5 Mio.Fr.
Glarus / St.Gallen	ca. 0,5 Mio.Fr.

Gegenwärtig sind Bemühungen im Gange, alle an schweizerischen Uranvorkommen interessierten Kreise in einer Gesellschaft zusammenzuschliessen. Mit Hilfe der Ausgabe von Aktien oder Anteilscheinen hofft man dann, von der Wirtschaft die 3 Mio.Fr. für die Durchführung der geplanten Schürfungen zu erhalten. Da vorläufig noch für einige Zeit ein Ueberangebot an Uran für zivile Zwecke besteht, das relativ niedrige Preise zur Folge hat, sind die Aussichten, auf rein privatwirtschaftlicher Basis eine schweizerische Uranproduktion in den nächsten Jahren in Gang zu bringen, nicht sehr gut. Die ausländischen Uranproduzenten haben auf Grund der militärischen Aufträge meistens schon ihre Anlagen abschreiben können, sodass sie nun, bis die so erschlossenen Lagerstätten abgebaut sind, eine sehr günstige Kalkulationsbasis haben. Unter diesen Umständen würde es einer eigenen Uranproduktion sehr schwer fallen, sich bei einer freien Konkurrenz erfolgreich einzuschalten.

Damit eine eigene Uranproduktion rasch in Gang gebracht werden kann, wird voraussichtlich eine beträchtliche finanzielle Unterstützung im Umfang von mindestens 5 Mio.Fr. für die notwendigen Schürfungen seitens des Bundes kaum zu umgehen sein. Für eine Intensivierung der Prospektionsarbeiten wären wahrscheinlich besonders wegen der Reduktion der entsprechenden Anstrengungen im Ausland, genügend Fachleute vorhanden.

Wenn die erwähnten Abklärungen das Vorhandensein ausreichender abbauwürdiger Uranlagerstätten ergeben würden, müssten Anlagen für die Aufbereitung des Gesteines und für die Herstellung des Urans in der Form, in welcher es entweder für die Fabrikation der Brennstoffelemente oder in den Anreicherungsanlagen benötigt wird, gebaut werden.

Ueber die Kosten kann man auf Grund ausländischer Angaben grobe Schätzungen anstellen. Nach Berichten der amerikanischen Behörden haben die teuersten Uranbergwerke eine Investition von nicht mehr als etwa 50 Mio.Fr. erfordert. Die Kapazität dieser Anlagen wurde leider nicht angegeben. Die Erstellungskosten für die Aufbereitungsanlagen betragen nach der gleichen Quelle zwischen 8,6 Mio.Fr. und 100 Mio.Fr. Die schwedische Regierung baut gegenwärtig in Ranstad eine Fabrik für die Gewinnung von jährlich etwa 120 to Uranoxyd (U_3O_8) aus Gesteinen mit relativ geringem Urangehalt. Diese Anlage wurde 1961 begonnen und soll 1965 in Betrieb kommen. Sie kostet rund 120 Mio.Fr. Auf eine gewisse Vorstellung über die Grössenordnung der notwendigen Investitionen kann man auch mit Hilfe der folgenden Uebersetzung kommen:

Die amerikanische Regierung zahlte 1956 für Uranoxyd \$ 12/lb, wobei in diesem Preis sicher ein wesentlicher Betrag für die rasche Abschreibung der Anlagen eingeschlossen wurde. Nach amerikanischen Schätzungen sollte Uranoxyd nur \$ 5/lb kosten, wenn diese Kosten nicht einbezogen werden. Nimmt man eine Abschreibungszeit von 5 Jahren an und eine Jahresproduktion entsprechend den in 3.2 berechneten Bedürfnissen von rund 100 to Uranoxyd, so ergeben sich daraus Anlagekosten von weniger als 35 Mio.Fr. Diese Zahl basiert jedoch einerseits auf der Verwendung von Gesteinen mit hohem Urangehalt und andererseits auf einer Produktion in sehr grossen Mengen, sodass sie als eine untere Grenze angesehen werden muss. Je nach den Verhältnissen müsste mit schweizerischen Investitionen von 80-120 Mio.Fr. für den Aufbau von Produktionsanlagen mit einer Kapazität von 100 to Uranoxyd gerechnet werden.

In Bezug auf den Personalbedarf kann erwähnt werden, dass Schweden für den Bau der Anlage in Ranstad ca. 150 Mann einsetzt. Die Amerikaner beschäftigten 1960 9000 Angestellte und Arbeiter in den Bergwerken, Aufbereitungs- und Extraktionsanlagen, um 17600 to Uranoxyd herzustellen. Rechnet man das auf die für die Herstellung von 200 kg hochangereichertem Uran erforderliche Produktion von 40 to um, so wären etwa 80 Mann notwendig.

Für die Umwandlung von Uranoxyd in Uranhexafluorid, wie es für die Anreicherung notwendig ist, sind keine teuren Installationen erforderlich. Dies geht schon daraus hervor, dass der amerikanische Tarif dafür etwa Fr. 5/lb beträgt. Da für die Investitionen, welche zur Herstellung von Uranoxyd notwendig sind, nur Grössenordnungen angegeben werden können, darf der Aufwand für diesen Teil in der Herstellung von Uranhexafluorid vernachlässigt werden.

Der Preis des inländisch hergestellten Uranhexafluorid wird sehr stark vom Urangehalt des gefundenen Gesteines, den Abbau- und Extraktionsschwierigkeiten abhängen. Ohne eine Versuchsproduktion wird es wahrscheinlich sehr schwer sein, zuverlässige Schätzungen in dieser Hinsicht zu machen.

Bezüglich des Zeitaufwandes kann angenommen werden, dass die Abklärung der Abbauwürdigkeit, falls dafür bestehende ausländische Aufbereitungsanlagen eingesetzt werden könnten, ungefähr 1-2 Jahre beanspruchen würde. Der Bau einer eigenen Uranproduktionsstätte würde dann etwa drei bis vier weitere Jahre beanspruchen, je nachdem wie rasch der entsprechende Entschluss gefasst wird.

3.2 Produktionsanlagen

3.2.1 Produktionsanlagen für hochangereichertes Uran

Von den in Abschnitt 1.2 skizzierten Verfahren sind heute, wie bereits dort erwähnt, lediglich das Gasdiffusions- und das Zentrifugenverfahren von praktischem Interesse. Mehrere grosse Gasdiffusionsanlagen befinden sich schon seit einigen Jahren im Ausland in Betrieb, während wohl eine ganze Anzahl von Ultrazentrifugen (siehe Tabelle Anhang 3.2.A1) gebaut und teilweise erprobt werden, jedoch noch keine vollständige Anlage auf Grund dieses Verfahrens hochangereichertes Uran produziert. Die nachfolgende Diskussion der beiden Verfahren kann sich deshalb im einen Fall auf konkrete ausländische Angaben stützen, im andern muss man sich mit Schätzungen begnügen.

Die Anforderungen, welche der Bau und Betrieb von auf diesen Methoden basierenden Produktionsanlagen für hochangereichertes Uran stellen, sind in den beiden Fällen nicht die gleichen. Wesentlich ist vor allem, dass die bei der Zentrifuge pro Stufe erreichbare Anreicherung sehr viel grösser ist, als bei den Gasdiffusionsanlagen. Daraus folgt, dass Zentrifugenanlagen in kleinen Einheiten gebaut werden können,

während die andere Methode wegen des im Verhältnis zur Produktion sehr grossen Gasvolumens, das dauernd umgewälzt werden muss, notwendig zu grossen Anlagen führt. Die Zentrifugenmethode lässt sich also besser an die Bedürfnisse einer kleinen Produktion anpassen. Zudem benötigt das Gasdiffusionsverfahren grosse Mengen von Kühlwasser, wodurch die Geheimhaltung des Standortes im Vergleich mit dem Zentrifugenverfahren, das weitgehend vom Kühlwasser unabhängig ist, wesentlich schwieriger wird.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der beiden Verfahren wird im Anhang 3.2.A1 ein Vergleich angestellt. Daraus folgt, dass die Zentrifugenmethode nur rund 10% der beim Diffusionsverfahren notwendigen Energie für die Anreicherung einer bestimmten Menge Uran erfordert. Die spezifischen Investitionskosten sind, falls man auf den heutigen Stand der Technik abstellt, beim Zentrifugenverfahren eher etwas höher als beim Gasdiffusionsverfahren. Dieser Nachteil wird im Laufe der Entwicklung sicher verschwinden.

Hinsichtlich der Kosten ist bekannt, dass eine Gasdiffusionsanlage mindestens etwa 1 Mia. \$ Investitionen erfordert. Die französische Fabrik, welche in Pierrelatte für die Herstellung hochangereicherten Urans gegenwärtig gebaut wird, soll 3.8 Mia. französische Francs kosten. Die ersten Studien begannen 1953, der Bau wurde 1960 in Angriff genommen, die gesamte Anlage soll 1967 fertiggestellt sein. In diesem Jahre sind 7000 Personen auf dem Bauplatz beschäftigt. Der Betrieb und Unterhalt der Anlage wird 4000 bis 5000 Personen erfordern. Ein solcher Aufwand kommt für die Schweiz bei der gegenwärtigen Wirtschaftslage kaum in Frage.

Im Falle des Zentrifugenverfahrens ist mit folgenden Kosten zu rechnen (für die Details siehe Anhang 3.2.A3):

Wenn man die in Kapitel 2 aufgestellten Bedingungen für eine Atomwaffenproduktion zu Grunde legt und annimmt, dass nach Abschluss der Vorbereitungen innert 5 Jahren die erste Bewaffnungsstufe, innert 14 Jahren die zweite und innert 27 Jahren die dritte Stufe abgeschlossen sein soll, dann reicht eine jährliche Produktion von 200 kg 95% angereichertem Uran aus. Die notwendigen Investitionskosten belaufen sich dann auf 50 Mio. Fr., und die jährlichen Aufwendungen auf 10 Mio. Fr.; hiebei sind die Gebäudekosten, die mit etwa 20 Mio. Fr. veranschlagt werden müssen, nicht einbezogen.

Bevor mit dem Bau einer solchen Anlage begonnen wird, müssten Studien über Ultrazentrifugen durchgeführt, sowie einige Prototypen gebaut und betrieben werden. Dafür sollten etwa 10 Mio.Fr. bereitgestellt werden. Die amerikanischen Behörden haben von ihren auf diesem Gebiete tätigen Verbündeten (Grossbritannien, Frankreich, Deutschland, Holland) erreicht, dass die entsprechenden Entwicklungen geheimgehalten werden. Vielleicht ist es aber trotzdem möglich, Fachleute, die an diesen Arbeiten beteiligt sind, für ein entsprechendes schweizerisches Unternehmen zu gewinnen, oder bereits entwickelte Zentrifugen zu kaufen. Damit könnte der zeitliche Aufwand für die Durchführung der notwendigen Entwicklung wesentlich reduziert werden. Allerdings müssen neben den Zentrifugen auch die Anforderungen für den Aufbau einer Zentrifugenkaskade untersucht werden. In Holland sind nach Zeitungsmeldungen die entsprechenden Arbeiten so weit gediehen, dass in einem Vorort von Amsterdam mit dem Bau einer Pilotanlage dieses Jahr begonnen wurde.

Für die Durchführung der Studien und Experimente auf dem Gebiete der Zentrifugen wäre eine Gruppe von 10-20 Mitarbeitern notwendig, wovon die Hälfte eine akademische Ausbildung besitzen sollte. Der Betrieb einer ganzen Anlage mit einer Jahreskapazität von 200 kg würde etwa 100 Mitarbeiter erfordern.

Der zeitliche Aufwand für die Studien muss mit mindestens 4 Jahren veranschlagt werden; der Bau einer Anreicherungsanlage würde wahrscheinlich etwa 5 Jahre beanspruchen.

Der Preis des hochangereicherten Urans wäre 66'000 Fr./kg, (20% Zuschlag für Abschreibungen auf die Preise gemäss Anhang 3.2.A3), d.h. der für die geplante Bewaffnung notwendige Spaltstoff würde rund 360 Mio.Fr. erfordern.

Der Preis des amerikanischen hochangereicherten Urans beträgt \$ 12/gr U-235 Gehalt in 90% angereichertem Uran, d.h. er ist ungefähr von der gleichen Grösse (ca. Fr. 52'000 pro kg).

3.2.2 Produktionsanlagen für Plutonium

Für eine eigene Plutoniumproduktion braucht es eine Fabrik zur Herstellung von Brennstoffelementen, einen oder mehrere Produktionsreaktoren und eine Aufbereitungsanlage für bestrahlte Brennstoffelemente zur Extraktion des Plutoniums. Bei dieser Aufzählung wurde die Beschaffung des erforderlichen Natururans nicht eingeschlossen,

da dieser Teil gleich ist, wie bei der Produktion von hochangereichertem Uran. Zu den einzelnen Gliedern in der Produktionskette ist folgendes zu bemerken:

Fabrik für Brennstoffelemente: die Technik für die Herstellung solcher Elemente ist einigermaßen bekannt; in der Schweiz gibt es jedoch noch kein Unternehmen, das eine genügende Ausrüstung besitzt, um eine Fabrikation im Grossen aufnehmen zu können. Einige Firmen haben im Zusammenhang mit der Herstellung von Brennstoffelementen für das Eidg. Institut für Reaktorforschung und für das Kernkraftwerk Lucens einige praktische Erfahrungen auf diesem Gebiet sammeln können, sodass mit keinen wesentlichen technischen Schwierigkeiten beim Aufbau einer eigenen Brennstoffelementefabrikation gerechnet werden muss.

Produktionsreaktor: dank der Kenntnisse, welche sich die schweizerische Industrie beim Bau des DIORIT-Reaktors erworben hat und beim Lucens-Reaktor erwirbt, sollte der Bau eines Produktions-Reaktors, der ja mit relativ niedrigen Temperaturen und Drücken arbeitet, keine besonderen Schwierigkeiten bereiten. Hinsichtlich der Wahl zwischen schwerem Wasser und Graphit als Moderator ist zu bemerken, dass das erstere heute nur von den USA in genügenden Mengen bezogen werden kann, wobei die amerikanische Regierung die Lieferung nur für friedliche Zwecke gestattet. Graphit ist ohne besondere Bestimmungen von europäischen Firmen erhältlich. Unsere Industrie hat Anlagen für die Produktion von schwerem Wasser entwickelt; der Bau einer solchen Fabrik würde jedoch wahrscheinlich zwei bis drei Jahre beanspruchen, und zusätzlich sind einige Jahre für die Erzeugung der notwendigen Mengen schweren Wassers in Rechnung zu stellen. Von diesem Gesichtspunkt aus erscheinen die graphitmoderierten Reaktoren leichter zu verwirklichen.

Aufbereitungsanlagen für Brennstoffelemente: die Schweiz beteiligt sich an der EUROCHEMIC, in deren Rahmen Aufbereitungsverfahren für Brennstoffelemente und die Plutoniumextraktion entwickelt werden. Zusätzliche eigene Studien über diese Methoden wären wahrscheinlich erforderlich. Im Lichte der ausländischen Erfahrungen würde aber bei dieser Entwicklung kaum mit erheblichen neuen technischen Schwierigkeiten zu rechnen sein. Ein besonderes Problem bilden die bei den heute angewendeten Aufbereitungsverfahren anfallenden grossen Mengen stark radioaktiver Flüssigkeiten. Jedoch sind bewährte Methoden bekannt, die wenigstens eine temporäre Lösung dieses Problemes gestatten.

Hinsichtlich des finanziellen, personellen und zeitlichen Aufwandes kann folgendes festgestellt werden (siehe Anhang 3.2.A4). Nimmt man eine jährliche Plutonium-Produktion von 100 kg an, so wird die erste Stufe der Bewaffnung innerhalb von 5 Jahren nach Fertigstellung der Anlagen, die zweite Stufe in 12 Jahren und die Endstufe in 19 Jahren abgeschlossen werden können, falls man auf eine Vergrößerung der Anlagen verzichtet. Eine solche Kapazität entspricht ungefähr der heutigen französischen Plutoniumproduktion. Wahrscheinlich könnte man bei uns darauf verzichten, die erforderliche Reaktorleistung von 480 MW auf drei Reaktoren zu verteilen, sondern es wäre eine Konzentration auf eine Anlage denkbar. Die amerikanischen Produktionsreaktoren sollen eine Leistung von 1000 MW (Graphit-Moderator) bzw. 2000 MW (Schwerwasser-Moderator) und 60 Mio. \$ bzw. 120 Mio. \$ pro Stück gekostet haben.

Für den Bau eines solchen Reaktors müsste wahrscheinlich mit rund 200 Mio. Fr. gerechnet werden (ca. 400 Fr./kW installierte Leistung). Der Betrieb würde etwa 100 Mitarbeiter erfordern, wovon ein Fünftel eine akademische Ausbildung besitzen müsste. Die Erstellung der Anlage würde etwa fünf Jahre benötigen (Bauzeit für den französischen Produktionsreaktor G 2 3 1/2 Jahre).

Für die Produktion der Spaltstoffelemente muss davon ausgegangen werden, dass jährlich etwa 200 to Natururan bestrahlt werden müssten (1400 MWd für die Erzeugung von 1 kg Pu notwendig, 700 MWd/to Bestrahlung zulässig). Auf Grund von Besichtigungen von ausländischen Brennstoffelementfabriken kann geschätzt werden, dass eine solche Anlage nicht mehr als etwa 20 Mio. Fr. kosten würde und bei ausreichender Automation mit einer Belegschaft von etwa 200 Leuten auskommen könnte. Als Bauzeit müssen etwa 2 Jahre eingesetzt werden.

Die Extraktion des Plutoniums erfordert eine Anlage, die der französischen in Marcoule entspricht (Jahresleistung etwa 110 kg Plutonium). Nach gewissen Quellen soll diese Fabrik 100 Mio. Fr. gekostet haben und ein Volumen von 113'000 m³ einnehmen.

Für den Betrieb, der durchgehend ist, sind 60 Mitarbeiter erforderlich. Zusätzlich werden nach den Erfahrungen mit dem EUROCHEMIC-Unternehmen etwa 40 Mitarbeiter für die Entwicklung und Verbesserung der Extraktionsverfahren benötigt. Der Bau der Aufbereitungsanlagen in Marcoule erforderte 3 Jahre.

Nach Anhang 3.2.A4 kostet das Kilogramm Plutonium 780'000 Fr. Der amerikanische Preis für isotopisch reines Plutonium (weapons grade) betrug seinerzeit \$ 45/gr, d.h. Fr. 194'000/kg. Die Herstellung im Kleinen würde in diesem Falle sehr kostenverteuernd wirken. Grossbritannien verkaufte kürzlich dem EURATOM Plutonium zum Preise von Fr. 560'000/kg. Eine gewisse Reduktion könnte durch den Verkauf der als Nebenprodukt anfallenden Wärme zur Elektrizitätserzeugung erzielt werden.

Die Kosten für den gesamten Spaltstoffbedarf der in Kapitel 2 festgelegten Waffenproduktion würden in diesem Falle rund 1'480 Mio.Fr. betragen.

3.3 Wafftentwicklung

3.3.1 Allgemeines, Personalaufwand

Da die ausländischen Anstrengungen für die Entwicklung von Kernwaffen naturgemäss zur eigentlichen Geheimspähre gehören, ist es sehr schwierig, aus der offen zugänglichen Literatur Anhaltspunkte zur Bestimmung des benötigten Aufwandes zu gewinnen. Man ist daher auf eigene Schätzungen angewiesen, welche nur als ganz grober Anhaltspunkt für die Grössenordnung des Aufwandes gelten können.

Beim heutigen Stand der Kenntnisse in Reaktorwissenschaft und -Technik darf man hoffen, bei genügendem Einsatz an theoretischen und rechentechnischen Methoden und Mitteln auch ohne eigene Experimente grösseren Ausmasses sehr genaue Angaben über den Zusammenhang zwischen Aufbau und Zusammensetzung eines nuklearen Sprengkörpers einerseits und dem anfänglichen Multiplikationsfaktor andererseits zu erhalten. Auch über die Anforderungen an den Zündmechanismus, welcher einen bestimmten prompt überkritischen Zustand genügend rasch und präzise herbeiführt, lässt sich bestimmt auf rein theoretischem Wege aus bekannten Daten alles Wesentliche herleiten. Was noch sehr im Dunkeln liegt und ausserordentlicher Anstrengungen bedarf, ist das qualitative und quantitative Verständnis für die Kräfte, welche über den zeitlichen Verlauf der Materiedichten während des Ablaufes der Kettenreaktion entscheiden. Wie bereits erwähnt, werden Temperaturen und Drücke herrschen, welche um viele Grössenordnungen über den Bereich der allgemeinen technischen Erfahrungen und der normalen Experimentierbedingungen hinaus führen.

Neben den theoretischen Untersuchungen werden deshalb eine Anzahl von Versuchsexplosionen durchgeführt werden müssen. In Anbetracht der grossen Bevölkerungsdichte, der topographischen und klimatischen Verhältnisse in der Schweiz müssten

mussten diese auch ohne Moskauer Abkommen über die Einstellung der oberirdischen Atomwaffenversuche unterirdisch vorgenommen werden. Die notwendige Zahl solcher Versuche soll im Folgenden abgeschätzt werden. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass die Sprengladungen aus hochangereichertem Uran bestehen. Wie bereits in 1.1.3 ausgeführt wurde, sind die Zündungsprobleme mit Plutonium wesentlich grösser, und die Kalibrierung deshalb viel unsicherer, sodass zur Entwicklung wohldefinierter Plutoniumsprengköpfe viel mehr Explosionen notwendig sind, als im Falle des hochangereicherten Urans.

Eine Vorstellung über die Zahl der Explosionen, welche für die Entwicklung eines reichhaltigen Waffenarsenals notwendig sind, geben die Statistiken über die amerikanischen Versuche.

*(Seite 39: 1962 allein
49 unterirdisch.)*

Es ist bekannt, dass zwischen 1945 und 1962 allein im Rahmen der amerikanischen Entwicklungsarbeiten 259 Testexplosionen mit Spaltungskernwaffen durchgeführt wurden, wovon 227 überirdisch, 5 unter Wasser und 27 unterirdisch. Bei der Beurteilung dieses Aufwandes ist einerseits zu berücksichtigen, dass sehr viele dieser Versuche dem Hauptzweck dienten, die Wirkungen in jeder Hinsicht kennen zu lernen. Die wichtigsten diesbezüglichen Resultate sind veröffentlicht worden (vgl. z.B. S. Glasstone, The Effects of Nuclear Weapons, Rev. Ed. Washington 1962), sodass sich die Duplikation jener Versuche erübrigt, auch wenn sie unter schweizerischen Verhältnissen möglich wäre. Andererseits muss man sich darüber klar sein, dass die Amerikaner mit der langen Reihe von Versuchsexplosionen ein ungeheuer reichhaltiges "Repertoire" von Atomsprengköpfen für verschiedenste Einsatzmittel und -Zwecke angelegt haben, ganz zu schweigen von der Entwicklung der atomaren Wasserstoffbomben-Zünder oder gar von Neutronenbomben. Demgegenüber kann es in den ersten drei Stufen einer möglichen schweizerischen Atombewaffnung (siehe Kapitel 2) nur um die Entwicklung einiger weniger Typen und Kaliber gehen. Falls die Versuche gut durchdacht ausgeführt werden, sollte man bei weitgehend empirischem Vorgehen bei Verwendung von hochangereichertem Uran pro Typ mit 3 bis 4 Versuchsexplosionen auskommen, im ganzen also mit etwa sieben, da die Versuche für die Kaliber 20 KT und 100 KT zusammen durchgeführt werden können. Diese Zahl scheint realistisch zu sein, wenn man bedenkt, dass die Amerikaner in den ersten fünf Jahren (1945 bis 1950) gemäss Angabe in der frühern Auflage der "Effects" (1957) nur 6 Atomsprengköpfe getestet haben, davon einen unter Wasser.

Ein Team von bestausgewiesenen theoretischen Physikern, Astrophysikern und Mathematikern wird erforderlich sein, welche in ausschliesslich theoretischer Arbeit, voraussichtlich ohne jede Möglichkeit von sinnvollen Modellversuchen, lernen müssen, das Kräftespiel im Plasma des Bombenkörpers zu verstehen. Nur so wird es möglich sein, in vernünftiger Zeit und mit einem kleinen Aufwand an Testexplosionen Bombenkörper zu konstruieren, welche auf zuverlässige Weise ein bestimmtes Kaliber zu verwirklichen gestatten.

Für die praktischen Arbeiten der Konstruktion des Zündmechanismus und der Anpassung an die vorgesehenen Trägerwaffen sowie für die Planung und Auswertung von unterirdischen Testexplosionen werden Sprengfachleute, "Militäringenieure", Waffenkonstrukteure, Experimentalphysiker, Geologen, Hydrologen, Meteorologen und Bauingenieure erforderlich sein. Die nachstehende Tabelle zeigt, auf einen Zeitraum von 5 Jahren verteilt, den Aufwand an Fachleuten mit meist akademischer Ausbildung. Die Zahl der Hilfskräfte wird hier bewusst nicht im Einzelnen angegeben, da diese für die Beurteilung der prinzipiellen Möglichkeiten weder personell, noch finanziell ausschlaggebend sind. Schätzungsweise dürfte das Verhältnis von hochqualifizierten Fachkräften zu Hilfskräften für derart anspruchsvolle Arbeit etwa 1:2 betragen, vorausgesetzt, dass geeignete elektronische Rechenmaschinen mit Benützungspriorität im benötigten Ausmass zur Verfügung stehen.

Bedarf an hochqualifizierten wissenschaftlich ausgebildeten Leuten für die waffentechnische Entwicklung bis zur Ausprüfung der ersten verwendbaren Sprengköpfe innert 5 Jahren (provisorische, unverbindliche Schätzungen)

	Jahr				
	1.	2.	3.	4.	5.
Theoretische Physiker und Astrophysiker	3	6	8	8	8
Reaktorphysiker	3	4	5	5	6
Mathematiker	2	4	5	6	6
Metallurgen	1	3	5	6	4
Sprengfachleute	1	2	4	5	5
Mil. Ingenieure	1	2	3	4	4
Konstrukteure	3	5	6	8	8
Experimentalphysiker	-	1	3	5	6
Geologen/Hydrologen/ Meteorologen	-	1	2	2	2
Tiefbauingenieure	-	-	1	1	1
Administration	1	2	2	2	2
Total	15	30	44	52	52

3.3.2 Grobe Kostenschätzung für die Waffenentwicklung

Unter Bezugnahme auf 3.2.1 wird angenommen, dass während der ersten fünf Jahre, d.h. während des Aufbaues der Zentrifugen-Anlage, mit einer Jahresproduktion von 200 kg U²³⁵ (95% angereichert), die erste Testexplosion vorbereitet werden könne. Während der folgenden 5 Jahre, also während der Durchführung der ersten Bewaffnungsstufe, sollen die übrigen Entwicklungsarbeiten insbesondere für die Beschaffungsstufen 2 und 3 mit einem Aufwand von weitem ca. 6 Versuchsexplosionen durchgeführt werden. Dabei soll der Stab von Fachleuten und Hilfskräften für Waffenentwicklung ungefähr auf dem Stand bleiben, der in der letzten Kolonne der Tabelle angegeben wird.

a) Personalkosten (Mittelwerte in Fr./Jahr)	Erste 5 Jahre	Zweite 5 Jahre
hochqualif. Akademiker à Fr. 30'000.-	1'200'000.-	1'500'000.-
techn. Personal und Hilfskräfte à Fr. 20'000.-	1'600'000.-	2'000'000.-
Mittlere Personalkosten / Jahr	2'800'000.-	3'500'000.-

b) Kosten für Versuchsexplosionen

Die Erprobung der Kaliber 100 KT und 20 KT kann gemeinsam durchgeführt werden, da die Anordnungen in den beiden Fällen ähnlich sind. Wenn es gelingt, eine genügend gute Theorie des Zündvorganges zu entwickeln, sollte man mit je 2 Versuchsexplosionen für diese Kaliber auskommen. Für die 5 KT Waffen muss aus Platzgründen eine andere Konstruktion des Sprengkopfes entwickelt werden. Deshalb kann man in diesem Fall wenig aus den Explosionen der grösseren Kaliber lernen. Es werden wahrscheinlich 3 Versuche notwendig sein, um eine einigermaßen zuverlässig kalibrierte Waffe zu erhalten. Die Zahl der Versuche kann reduziert werden, wenn man der Frage der Einhaltung des Kalibers keine grosse Bedeutung beimisst, wie das für strategische Abschreckungswaffen zutrifft.

In Bezug auf den Aufwand für die Versuche muss festgestellt werden, dass dieser schwierig abzuschätzen ist, ohne dass man die geologischen Verhältnisse des gewählten Versuchsgeländes genau kennt. Nach amerikanischen Angaben besteht die Möglichkeit, die Versuchskaverne je nach der Gesteinsart mehrmals zu verwenden. Bei der Gnome Explosion von Dezember 1961 wurde eine grosse Kaverne gebildet,

die schon im Mai 1962 ohne eine wesentliche Strahlengefährdung betreten werden konnte. Dieser Versuch fand in etwa 600 m Tiefe in einer Salzschiefer statt. Die Zugangsschächte wurden nur wenig zerstört. Bei einer ähnlichen Explosion in Granit stürzte die durch die Explosion geschaffene Kaverne während des Abkühlens ein.

Bei der Kostenschätzung kann man sich auf amerikanische Angaben stützen, wobei aber aus den schon erwähnten Gründen beträchtliche Unsicherheiten bestehen. Die Atomic Energy Commission soll für die unterirdischen Versuche in letzter Zeit pro Jahr etwa 100 Mio. \$ ausgegeben haben. Im Jahre 1962 wurden 49 Nuklearsprengköpfe unterirdisch im Nevada-Versuchsgelände erprobt. Dies führt auf einen Aufwand von etwa 9 Mio. Fr. pro Versuch. In die Einrichtung des Versuchsgeländes wurden etwa 70 Mio. \$ bis Ende 1962 investiert. Da man in einem schweizerischen Versuchsprogramm mit 2-3 Versuchen pro Jahr auskommen könnte, würde die Einrichtung einer entsprechenden Versuchsstation 30-40 Mio. Fr. nicht überschreiten.

Wenn man gleiche Bodenbeschaffenheit wie für die Rainier-Explosion vom 19. Sept. 1957 annimmt (vgl. Th. Ginsburg, Die friedliche Verwendung von Nuklearbomben, Separatdruck aus NZZ, Zürich, Juni 1961), gelten folgende ungefähren Daten für die notwendige Erprobung der nuklearen Sprengköpfe:

<u>Kaliber</u>	<u>100 KT</u>	<u>20 KT</u>	<u>5 KT</u>
Mindesttiefe	600 m	350 m	220 m
Sichere Tiefe	1200 m	700 m	440 m
Optimaler Durchmesser des Raumes für Entkopplung *)	270 m	160 m	100 m
Kosten für Tests **)	(2) 18 Mio.	(2) 18 Mio.	(3) 27 Mio.

c) Diverse Kosten pro Memoria: (Ca. Fr. 3'000'000.- pro Jahr)

Die Kosten für die Benützung von Rechenmaschinen, für ein angemessenes Instrumentarium, für Fachliteratur, Studienreisen etc., sowie Büro- und Laboratoriumsräumlichkeiten sind nach einem bewährten Pauschalsatz mit Bezug auf die Zahl der Leute zu berechnen, z.B. durch einen Zuschlag von der Grössenordnung der Lohnsumme.

*) Bei dieser Entkopplung (vgl. International Science and Technology, Januar 1962, pg.46) geht es darum, die seismische Welle minimal zu machen. Dies könnte zum Schutze der Staumauern notwendig werden. Sehr wahrscheinlich genügen aber unter günstigen Verhältnissen sehr viel kleinere Hohlräume.

***) ohne Berücksichtigung der für die volle Entkopplung notwendigen Kavernen

3.3.3 Unsicherheiten der Abschätzungen betr. Waffen-Entwicklung

Wie bereits am Anfang erwähnt, ist man im wesentlichen auf eigene Schätzungen angewiesen, da die ausländischen Erfahrungen durchwegs geheim gehalten werden. Ein summarischer Vergleich der Kosten für Spaltstoff-Fabrikation und Waffenentwicklung und -Herstellung zeigt, dass in Uebereinstimmung mit den Budgetziffern der USAEC die Waffenentwicklung und Herstellung ungefähr zwei Drittel so teuer zu stehen kommt, wie die Spaltstoff-Fabrikation.

Es sei hier nochmals auch darauf hingewiesen, dass die benötigten Spaltstoffmengen unter der optimistischen Annahme berechnet wurden, dass es gelingt, den Bombenkörper während der Explosion so gut zusammenzuhalten, dass der Abbrand die Kettenreaktion als Hauptursache zum Stillstand bringt. Sollte diese Annahme wider Erwarten schlecht erfüllt sein - wir sehen gegenwärtig keine Möglichkeit der Überprüfung - so würde sich der mit dem Kaliber variable Anteil des Spaltstoffbedarfes beträchtlich erhöhen. Dies könnte im Falle der 100 KT Bomben aus U^{235} mit Reflektor zu einer Erhöhung des Spaltstoffbedarfes von einigen 10% führen. Eine ähnliche Erhöhung des Spaltstoffbedarfes könnte daraus entstehen, dass bei einem Totalgewicht von 1000 kg das angestrebte Kaliber von 60 bis 100 KT nicht ohne weiteres zu erreichen ist (vgl. Tabelle aus 1.1.3). Es könnte dann notwendig werden, durch Beimengung eines abbrennbaren Neutronenabsorbers einen autokatalytischen Effekt zu erzeugen, der in dieser Beziehung hilfreich wäre, jedoch zusätzlichen Spaltstoffkosten würde. In diesem Falle wären sehr wahrscheinlich, zusätzlich zum vorgesehenen Programm, ausführliche kritische Experimente erforderlich: Mehrkosten für Waffenentwicklung = 20 bis 40%.

4. Zusammenstellung des Totalaufwandes

Bei dieser Zusammenstellung wird, wie schon in Kapitel 2 ausgeführt, von der Annahme ausgegangen, dass für die nähere Zukunft nur der Aufbau entweder einer Produktion von hochangereichertem Uran oder von Plutonium in Frage kommt. Es werden deshalb diese beiden Fälle gesondert als Alternativen aufgeführt. Die Angaben über den gemeinsamen Ausgangspunkt, das Natururan, welches entweder importiert oder in der Schweiz produziert werden muss, sollen zuerst speziell zusammengestellt werden:

4.1 Natururanproduktion

	<u>Mio.Fr.</u>	<u>Mann</u>	<u>Jahre</u>
Kosten:			
Abklärung der Abbauwürdigkeit	5		
Produktionsanlage	80 - 120		
Personal:		ca. 80	
Zeitbedarf:			
Abklärung			1 - 2
Produktionsanlage (Bau)			<u>4</u>
		Total	<u>5 - 6</u>

Eventuell müssten weitere Prospektionsarbeiten durchgeführt werden, falls die bisher gefundenen Indikationen zu keinen interessanten Uranlagerstätten führen.

4.2 Produktion des Spaltmaterials

4.2.1 Hochangereichertes Uran

	<u>Mio.Fr.</u>	<u>Mann</u>	<u>Jahre</u>
Kosten:			
Studien und Entwicklung	10		
Anlage	70		
Personal:			
Studien und Entwicklung		10 - 20	
Betrieb		50	
Zeitaufwand:			
Studien und Entwicklungen			4
Bau der Anlage			4 - 5

Die Zentrifugenanlage könnte wahrscheinlich nötigenfalls schon vor Abschluss der Studien- und Entwicklungen begonnen werden.

Totale Kosten des Spaltmaterials		<u>Mio.Fr.</u>
für 1. Bewaffnungsstufe		65
2. Bewaffnungsstufe		125
3. Bewaffnungsstufe		170
Total		<u>360</u>

Totaler Zeitaufwand	Jahre	Verdoppelung der Kapazität nach der <u>1. Bewaffnungsstufe</u>
Studien und Bau	8 - 9	
1. Bewaffnungsstufe	5	
2. Bewaffnungsstufe	9	5
3. Bewaffnungsstufe	13	6
Total	<u>35 - 36</u>	<u>24 - 25</u>

4.2.2 Plutonium:

Kosten:	<u>Mio.Fr.</u>
Brennstoffelementfabrik	20
Produktionsreaktor	200
Plutonium-Extraktionsanlage	100
Total	<u>320</u>

Personal:	<u>Mann</u>
Brennstoffelementfabrik	200
Produktionsreaktor	100
Plutonium-Extraktionsanlage	100

Totaler Zeitaufwand	Jahre	Verdoppelung der Kapazität nach der <u>1. Bewaffnungsstufe</u>
Totale Kosten des Spaltmaterials		<u>Mio.Fr.</u>
1. Bewaffnungsstufe		350
2. Bewaffnungsstufe		530
3. Bewaffnungsstufe		600
Total		<u>1480</u>

Totaler Zeitaufwand	<u>Jahre</u>
Bau Produktionsreaktor, Extraktionsanlage, Fabrik für Brennstoffelemente (die 3 Anlagen können parallel erstellt werden)	ca. 5
1. Bewaffnungsstufe	5
2. Bewaffnungsstufe	7
3. Bewaffnungsstufe	7
Total	<u>24</u>

4.3 Waffentechnische Entwicklung (nur im Falle von hochangereichertem Uran):

Kosten:	<u>Mio.Fr.</u>
Personal	32
Laboratorien, Einrichtungen	30
Versuchsexplosionen	63
Einrichtung Versuchsgelände	30 - 40
Total	<u>155 - 165</u>

Personalaufwand: (in runden Zahlen)

- 50 Akademiker
- 100 Hilfskräfte
- 100 Baugruppe für unterirdische Versuche

Zeitaufwand:	<u>Jahre</u>
Theoretische Studien und Vorbereitung erste Versuche	5
Kombiniert Studien und Versuchstests	5

4.4 Staffelung und Zusammenzug aller Aufwendungen

Einige der für eine eigene Atomwaffenproduktion notwendigen Arbeiten können parallel in Angriff genommen werden, da sie von verschiedenen Gruppen unternommen werden müssen und mindestens nicht von Anfang an den Abschluss der vorhergehenden Entwicklungen voraussetzen. Die gleichzeitige Durchführung verschiedener Teile des Entwicklungsprogrammes würde allerdings einen grösseren jährlichen finanziellen Aufwand und besonders eine stärkere Beanspruchung des Baugewerbes erfordern. Die folgende zeitliche Staffelung wäre denkbar und würde doch in nicht allzu langen Zeiträumen zu eigenen Atomwaffen führen:

Atombewaffnung auf der Basis von hochangereichertem Uran

	Jahre	Personal	Kosten (Mio.Fr.)
1. Vorbereitende Studien vor endgültigem Entscheid (siehe Kap. 7, umfasst Abklärung für eigene Uranproduktion, Entwicklung Ultrazentrifuge, Untersuchungen Plutoniumerzeugung)	3		20
2. Erster Fünfjahresplan: Uranabbau, Fabrik für Uranhexafluorid, erste waffentechnische Studien		80	100
Fertigstellung Zentrifuge, Bau der Anreicherungsanlage		250	80
		<u>100</u>	<u>70</u>
Total	5	430	250
3. Zweiter Fünfjahresplan: Verwirklichung 1. Bewaffnungsstufe, weitere waffentechnische Studien, unterirdische Versuche	5	130	155
4. 2. Bewaffnungsstufe	9	100 *	125 *
5. 3. Bewaffnungsstufe	13	180 *	170 *
Total (in runden Zahlen)	35		ca. 720

* Ohne Fortführung der waffentechnischen Entwicklung.

Falls für die 2. Bewaffnungsstufe die Kapazität der Anreicherungsanlage verdoppelt würde, könnte die Bewaffnung 11 Jahre früher abgeschlossen werden, wobei der zusätzliche Aufwand in der Grössenordnung von 50 Mio.Fr. wäre. Da die angegebenen Zahlen auf groben Schätzungen beruhen, wurde ausser Acht gelassen, dass im Preis des Urans gewisse Beträge für die Gebäudekosten (10% Abschreibung) inbegriffen sind. Ebenso wurden die Kosten für die Herstellung der Geschosse, die im Verhältnis zum übrigen Aufwand beim hochangereichterten Uran relativ gering sind, vernachlässigt.

In der Tabelle nicht angeführt sind im allgemeinen die Arbeitsequipen für die Erstellung der Gebäude.

Bei einer Atombewaffnung auf der Basis des Plutoniums wäre mit dem folgenden Plan zu rechnen:

Atombewaffnung auf der Basis von Plutonium

	Jahre	Personal	Kosten (Mio.Fr.)
1. Vorbereitende Studien (wie beim Uran)	3		20
2. Erster Fünfjahresplan: Uranabbau, Fabrik für Uranhexafluorid, erste waffentechnische Studien		330	180
Bau des Produktionsreaktors, der Fabrik für Brennstoffelemente, der Aufbereitungs- und Extraktions- anlagen		400	320
Total	5	730	500
3. Zweiter Fünfjahresplan: 1. Bewaffnungsstufe, weitere waffen- technische Studien, unterirdische Versuche	5	750	440
4. 2. Bewaffnungsstufe	7	400 *	530 *
5. 3. Bewaffnungsstufe	7	400 *	600 *
Total (in runden Zahlen)	27		2100

* Ohne Fortführung der waffentechnischen Entwicklung.

Auch diese Aufstellung weist einige Ueberschneidungen bei den Gebäudekosten auf und führt das für die Bauten notwendige Personal nicht auf. Bei den Plutoniumwaffen muss zudem noch darauf hingewiesen werden, dass die waffentechnischen Probleme (z.B. Kalibrierung) wesentlich schwieriger als beim hochangereicherten Uran sind, sodass eigentlich für die waffentechnische Entwicklung bedeutend grössere Summen eingesetzt werden müssen. Vermutlich würde das den totalen Aufwand höchstens um 10% ändern und bleibt deshalb innerhalb der Ungenauigkeiten der Schätzungen.

5. Beurteilung der Aussichten auf Realisierung einer eigenen Atomwaffen-Produktion

5.1 Zuverlässigkeit der Schätzungen, offene Probleme

Es muss hier betont werden, dass die angestellten Schätzungen nur eine Vorstellung von den Grössenordnungen geben können. Die der Studiengruppe zur Verfügung stehenden Unterlagen enthielten sehr spärliche und zum Teil auch nicht immer ganz zuverlässige Angaben hinsichtlich der Atomwaffenherstellung. Auf Grund dieser Informationen musste mit Hilfe eigener Berechnungen versucht werden, ein vollständigeres Bild zu erhalten und fragwürdige Daten nachzuprüfen. Da die Mitglieder der Studienkommission nur ihre Freizeit für solche Arbeiten zur Verfügung hatten, konnten innerhalb der gesetzten kurzen Frist keine umfangreichen Abklärungen vorgenommen werden. Insbesondere sind keine detaillierten Projekte für die einzelnen erforderlichen Studien und Bauten aufgestellt worden. Dies wäre für die einigermaßen zuverlässige Berechnung des Aufwandes unbedingt erforderlich.

Die folgenden Probleme bedürfen einer weiteren Abklärung:

1. Uranbeschaffung. Sowohl die Möglichkeiten der Beschaffung von Natururan im Ausland, wie der Eigenproduktion im Inland müssen soweit erforscht werden, dass eindeutig gesagt werden kann, welche Lösung praktisch in Frage kommt und welchen Aufwand dann die Uranversorgung erfordert.
2. Anlagen für hochangereichertes Uran. Die Möglichkeiten der Entwicklung einer schweizerischen Uranzentrifuge müssen sorgfältig geprüft werden. Die Anforderungen für eine Anreicherungsanlage mit genügend grosser Produktion von hochangereichertem Uran sollten mit Hilfe eines Vorprojektes geschätzt werden.
3. Verfahren für die Plutoniumextraktion. Die der Schweiz auf Grund der Beteiligung an der EUROCHEMIC Gesellschaft zustehenden Informationen sind im Hinblick auf eine allfällige eigene Plutoniumproduktion auszuwerten und durch zusätzliche Studien zu ergänzen.
4. Plutoniumproduktion. Der Aufwand für die Brennstoffelementfabrik, den Produktionsreaktor und die Extraktionsanlage für das Plutonium sind durch Vorprojekte zu überprüfen, falls man diese Alternative ernsthaft in Betracht ziehen will.

5. Kalibrierungsprobleme und Zündmechanismen bei Fissions-Sprengkörpern. Auf diesen Gebieten bestehen noch zahlreiche Probleme, die systematisch zusammengestellt und soweit analysiert werden sollten, dass die Anforderungen und Aussichten für eine Lösung genauer geschätzt werden können.
6. Planung unterirdischer Versuche. Die Bedingungen für die Durchführung von unterirdischen Versuchen, welche nur wenig Auswirkungen an der Erdoberfläche haben dürfen, sind zu untersuchen. Sodann muss abgeklärt werden, ob in der Schweiz ein Gelände gefunden werden kann, das diesen Bedingungen genügt.
7. Beschaffung der wissenschaftlichen und technischen Kader für eine eigene Atomwaffenentwicklung. In Zusammenarbeit mit unseren Hochschulen, Techniken und der Industrie muss geprüft werden, ob und wie die erforderlichen Fachleute rekrutiert werden können. Auch die Heranziehung einzelner hervorragender ausländischer Fachleute, besonders für Entwicklungen, die auch für zivile Zwecke eingesetzt werden könnten, sollte sondiert werden.
8. Die Organisation einer eigenen Atomwaffenproduktion. Die Mächte, welche über eine eigene Atombewaffnung verfügen, haben alle einen gewaltigen staatlichen Apparat und staatliche Unternehmungen zur Durchführung der Entwicklung und für die Produktion solcher Waffen geschaffen. Der Aufbau einer geeigneten Organisation, die den schweizerischen Gegebenheiten Rechnung trägt, sollte rechtzeitig geprüft werden.
9. Anforderungen einer Entwicklung von Waffen, welche die Fusion verwenden. Wie schon früher begründet, wurde in diesem Bericht auf die Behandlung dieses Problems verzichtet. Grössere Untersuchungen auf diesem Gebiete werden wegen ihrer Schwierigkeit nicht in den nächsten Jahren in Frage kommen, sollten aber nicht ganz ausser Acht gelassen werden.

5.2 Personalbedürfnisse

Angesichts des heute herrschenden Personalmangels muss man sich fragen, ob die notwendigen Fach- und Hilfskräfte gefunden werden können. Die kleinste personelle Beanspruchung würde sich wahrscheinlich im Falle der Produktion von hochangereichertem Uran ergeben, da in diesem Falle im wesentlichen nur eine grosse Zahl von Zentrifugen zu überwachen und zu unterhalten wären, während beim Plutonium drei verschiedene Tätigkeitsbereiche, nämlich die Fabrikation von Brennstoffelementen, der

Betrieb eines Reaktors und die Extraktion des Plutoniums zu betreuen wären. Auch das Bauvolumen, welches für die Lösung mit hochangereichertem Uran notwendig ist, wird wahrscheinlich wesentlich geringer sein als bei der Lösung mit Plutonium. Der Bau der 4 Calder Hall Reaktoren in Grossbritannien, mit einer Jahresproduktion von etwa 220 kg, erforderte während einiger Jahre bis zu 2'000 Bauarbeiter.

Die für die Entwicklung des Zentrifugenverfahrens notwendigen 10-20 Fachleute sind auch unter den heutigen Verhältnissen zu finden. Schwieriger wird die Rekrutierung der maximal etwa 50 Akademiker für die Waffenentwicklung sein, da im Rahmen der bestehenden Organisation wegen der ungenügenden Saläre der Akademiker beim Bund kaum die erforderlichen erstklassigen Fachleute aus der Industrie gewonnen werden könnten. Die zahlreichen waffentechnischen Probleme können nicht nur mit einem Stab von jungen Hochschulabsolventen ohne Erfahrung gelöst werden. In diesem Zusammenhang würde ein militärtechnisches Institut in Verbindung mit der ETH vielleicht zu einer befriedigenden Lösung führen.

Im Vergleich mit den im Bericht Hummler aufgeführten Bedürfnissen der Industrie für technischen Nachwuchs *), treten die für eine Atomwaffenproduktion notwendigen Kader, gesamthaft gesehen und über die Jahre verteilt, nicht so stark in Erscheinung. In einzelnen Berufskategorien, wie z.B. bei den Physikern, Mathematikern und Chemikern, in welchen die schweizerischen Hochschulen relativ wenig Studenten haben und die gerade für eine Entwicklung von Nuklearwaffen von Bedeutung sind, ist mit grossen Schwierigkeiten bei der Rekrutierung der notwendigen hochqualifizierten Kader zu rechnen, die unter Umständen wesentliche Verzögerungen in den in 4.4 vorgelegten Plänen bewirken könnten.

5.3 Finanzen und Auswirkungen auf die Wirtschaft

Die Schätzungen über den finanziellen Aufwand zeigen, dass eine Atombewaffnung wahrscheinlich im Rahmen der Möglichkeiten der Schweiz bleibt. Dies ist auch die Auffassung ausländischer Autoren. Falls nicht Wert auf eine sehr rasche Durchführung der Bewaffnung gelegt wird, könnte eine solche (ohne Einbezug der Waffenträger) wahrscheinlich im Rahmen eines jährlichen Budgets, das in den Investitions-Perioden (Bau der Produktionsanlagen) 200 Mio.Fr. nicht übersteigt, durchschnittlich jedoch bedeutend kleiner ist, realisiert werden.

Bezüglich der Auswirkungen auf die Industrie ist zu sagen, dass diese je nach dem gewählten Wege verschieden sind. Für den Bau der Anreicherungsanlagen müsste die

*) Schlussbericht des Arbeitsausschusses zur Förderung des wissenschaftlichen und technischen Nachwuchses, 1959.

Produktionskapazität gewisser Maschinen- und Elektrofirmer ausgebaut werden, da wahrscheinlich viele tausende von Zentrifugen und Elektromotoren gebaut werden müssten. Die sehr hohen Anforderungen, welche die Fabrikation dieser Maschinen stellt, könnte anregend auf andere Entwicklungen wirken. Leistungsfähige Zentrifugen würden sicher auch im zivilen Sektor interessante Anwendungen finden, insbesondere auch bei der Produktion von Isotopen, welche die Forschung und auch die industrielle Praxis zunehmend benötigen.

Im Falle der Plutoniumwaffen müssten die Reaktorbauabteilungen der Firmen erweitert werden, um gleichzeitig den Bedürfnissen der zivilen und militärischen Entwicklung gerecht werden zu können. Angesichts des heute schon bestehenden Mangels an Fachleuten der Kerntechnik würde dieser Ausbau einige Zeit erfordern. Sodann müsste vielleicht die Produktionskapazität entweder für Graphit oder schweres Wasser wesentlich vergrössert werden, wobei für beide Richtungen schon Anlagen in der Schweiz in Betrieb sind. Besondere Anforderungen würde auch der Bau der Aufbereitungsanlage für bestrahlte Brennstoffelemente stellen, wobei die Erfahrungen mit der Konstruktion des Hot Labors in Würenlingen eine wertvolle Basis geben können. Der Bau eines Produktionsreaktors würde nur wenige Erkenntnisse für die zivile Reaktorentwicklung bringen, da an eine solche Anlage keine sehr hohen Anforderungen, beispielsweise bezüglich der Temperatur, des Druckes und der Korrosionsbeständigkeit, gestellt werden müssen. Hingegen wäre es für die zivile Entwicklung zu begrüssen, wenn auf Grund der militärischen Erfordernisse eine Fabrikation von Brennstoffelementen aufgezogen würde, die später einmal auch für zivile Zwecke eingesetzt werden könnte. Die Herstellung solcher Elemente mit ihren hohen Anforderungen an die Präzision und Sauberkeit fügt sich sehr gut in die schweizerische industrielle Tätigkeit ein.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen, welche eine Atomwaffenproduktion auf unsere Industrie haben könnte, dürfen allfällige Rückwirkungen von der politischen Seite her nicht ausser Acht gelassen werden. Die amerikanische Regierung scheint mit allen Mitteln zu versuchen, eine Ausdehnung des Klubs der Atomwaffenbesitzer zu verhindern. Bei Bekanntwerden von schweizerischen Vorhaben in dieser Richtung könnte sie vielleicht die Unterbindung jeglicher Lieferungen von amerikanischem Material und Apparaten, die in der Atomtechnik benötigt werden, beschliessen. Dies würde die Anstrengungen unserer Wirtschaft für die Entwicklung eines schweizerischen Kernkraftwerkes in Schwierigkeiten bringen, da sie beispielsweise auf amerikanisches

schweres Wasser und Zirkon wegen der vorteilhaften amerikanischen Preise angewiesen ist. Diese Gefahr tritt allerdings nicht auf, wenn es gelingt, eine allfällige Atomwaffenproduktion mindestens bis zur Fertigstellung der erforderlichen Anlagen geheim zu halten. Von diesem Gesichtspunkt aus erscheint der Weg über hochangereichertes Uran vorteilhafter als derjenige über das Plutonium, da er in den vorbereitenden Stadien als zivile Entwicklung bezeichnet werden kann.

1. Die Plutoniumstoffe, welche durch die Spaltung von schweren Atomen entstehen und die zu Zirkon von ungefähr der 200-fachen Menge...

2. Die hochangereicherten Plutoniumstoffe (Plutonium-239 und Plutonium-241)...

Nicht ausgeschlossen aber sehr unwahrscheinlich ist die Entwicklung einer Atomwaffenfabrik, die mit Hilfe von hochangereichertem Uran...

Für den künftigen Einsatz werden vorläufig in erster Linie Plutoniumstoffe in Frage kommen, besonders wenn man sich auf weitestgehende Geheimhaltung will, die sichergestellt werden können. Die hochangereicherten Plutonium-239- und Plutonium-241-Isotope eignen sich aber als strategische Reservestoffe oder Brennstoffe. Der künftige Standpunkt wird von der Entwicklung von hochangereichertem Plutonium-239 als wesentlich wichtiger bestimmt werden, die die Menge von diesen Plutoniumstoffen, die Produktion von hochangereichertem Uran...

Plutoniumstoffe können auf zwei Wegen hergestellt werden:

1. Mit Hilfe von hochangereichertem Uran. Für die Herstellung dieses Spaltstoffes müssen Anreicherungsanlagen gebaut werden, die entweder auf der Diffusions- oder der Zentrifugenmethode beruhen. Die Diffusionsanlagen benötigen einen Plutonium- und Uranerzlieferanten, der für die Rohstoffe verantwortlich ist, sowie eine Anreicherungsanlage. Die Zentrifugenanlage ist einfacher zu betreiben, erfordert aber einen Plutonium- und Uranerzlieferanten, der für die Rohstoffe verantwortlich ist, sowie eine Anreicherungsanlage.

2. Mit Hilfe von Plutonium. In vorerwähnten Ländern stehen die entsprechenden Anlagen, die für die Herstellung dieses Spaltstoffes in der Industrie gebaut werden könnten, in Betrieb. Anstatt die hohen Plutoniumkosten der chemischen Industrie durch die Anreicherungsanlage zu sparen, könnte Plutonium, das in der Industrie...

6. Zusammenfassung und Schlussbetrachtungen

Die wichtigsten Feststellungen dieses Berichtes können wie folgt zusammengefasst werden.

Es sind heute zwei Kategorien von Atomwaffen bekannt:

- a. Die Fissionswaffen, welche allein auf der Spaltung von schweren Atomkernen beruhen und bis zu Kalibern von weniger als 200 KT reichen.
- b. Die kombinierten Fissions-Fusions Waffen (Fission-Fusion- und Fission-Fusion-Fissionswaffen), welche Sprengwirkungen im Megatonnenbereich aufweisen.

Nicht ausgeschlossen aber sehr ungewiss erscheint die Entwicklung einer reinen Fusionswaffe, die mit Hilfe von konventionellem Sprengstoff gezündet werden könnte.

Für den taktischen Einsatz werden vorläufig in erster Linie Fissionswaffen in Frage kommen, besonders wenn man sich auf Waffenträger beschränken will, die wahlweise mit konventionellen oder atomaren Sprengkörpern eingesetzt werden können. Die kombinierten Fissions-Fusionswaffen eignen sich eher als strategische Abschreckungs- oder Vergeltungswaffen. Vom technischen Standpunkt aus muss die Entwicklung von kombinierten Fissions-Fusionswaffen als wesentlich schwieriger bezeichnet werden, als diejenige von reinen Fissionswaffen. Die Produktion von Sprengkörpern der Kategorie b. wird daher für unser Land noch für einige Zeit nicht in Frage kommen.

Fissionswaffen können auf zwei Wegen hergestellt werden:

- a. Mit Hilfe von hochangereichertem Uran. Für die Herstellung dieses Spaltstoffes müssen Anreicherungsanlagen gebaut werden, die entweder auf der Gasdiffusions- oder der Zentrifugenmethode basieren. Gasdiffusionsanlagen verlangen einen finanziellen und personellen Aufwand, der für die Schweiz wahrscheinlich zu gross ist. Hingegen liegt die Zentrifugenmethode im Bereiche der technischen Möglichkeiten unseres Landes. Entsprechende Anlagen sind jedoch selbst im fortgeschrittenen Ausland erst in Entwicklung.
- b. Mit Hilfe von Plutonium. In verschiedenen Ländern stehen die entsprechenden Anlagen, die für eine Eigenproduktion dieses Spaltstoffes in der Schweiz gebaut werden müssten, im Betrieb. Angesichts des hohen Standes der schweizerischen Industrie scheint eine Atombewaffnung auf dieser Basis, obwohl kostspielig, doch möglich zu sein.

In der nachfolgenden Tabelle sind die beiden Wege, welche für eine schweizerische Atom-
bewaffnung in Betracht zu ziehen sind, einander gegenübergestellt:

Gegenüberstellung der beiden, für die Schweiz in Frage kommenden Möglichkeiten für die Fissionswaffenproduktion

	Hochangereichertes Uran	Plutonium
Ausgangsmaterial	Natururan	Natururan
Technische Anforderungen	Neuentwicklung von Ultrazentrifugen und von Zentrifugenkaskaden Projektierung und Bau einer An- reicherungsanlage	Auf Grund ausländischer Erfahrungen und Kenntnisse Ausarbeitung von Verfahren für die Produktion von Brennstoffelementen und für die Extraktion von Plutonium Projektierung und Bau eines Produktions- reaktors, einer Fabrik für Brennstoff- elemente, einer Extraktionsanlage für Plutonium
Waffentechnische Entwicklung	Zündmechanismus einfach, Kalibrierung mit wenigen Versuchsexplosionen möglich	Zündmechanismus schwierig, Kalibrierung unsicher, deshalb grössere Zahl von Ver- suchsexplosionen zur Erreichung genügend genauer Kaliber notwendig.
Industrieller Aufwand	bescheiden und auf eine Anlage konzentriert	Mindestens drei verschiedenartige Anlagen, darunter zwei mit grossem Bauvolumen, des- halb grössere Anstrengungen für Bau und Betrieb erforderlich
Zusätzliche Schwierigkeiten im Betrieb	keine	Produktionsreaktor braucht grössere Kühl- wassermengen, Lagerung der hochradioaktiven Rückstände aus der Aufarbeitung der Brenn- stoffelemente nicht einfach.
Finanzbedarf	ca. 750 Mio.Fr. für alle 3 Bewaffnungs- stufen	ca. 2'100 Mio.Fr. für alle 3 Bewaffnungs- stufen
Zeitaufwand	13 Jahre für Ausrüstung mit 50 Flieger- bomben zu 60-100 KT 35 Jahre für alle 3 Bewaffnungs- stufen	13 Jahre für Ausrüstung mit 50 Flieger- bomben zu 60-100 KT 27 Jahre für alle 3 Bewaffnungsstufen
Personalbedarf	Zeitweise bis zu ca. 450 Mann + Baupersonal	Zeitweise bis ca. 750 Mann + Baupersonal
Durchführbarkeit	wahrscheinlich, jedoch von Erfolg der Zentrifugenentwicklung abhängig	ziemlich sicher
Geheimhaltung	leichter	schwierig wegen Produktionsreaktor
Verwendungsmöglichkeit für zivile Zwecke	praktisch 100 %	teilweise, Produktionsreaktor nur be- schränkt zur Elektrizitätserzeugung ver- wendbar

Für die Beschaffung des Natururans kommt entweder die Ausbeutung eigener Vorkommen, für
welche vorläufig nur einige positive Indikationen bestehen, oder der Kauf im Ausland in
Frage. Die Alternative mit hochangereichertem Uran scheint einige wesentliche Vorzüge

gegenüber derjenigen mit Plutonium zu besitzen. Falls es gelingt, brauchbare Zentrifugen zu entwickeln, würden eine grössere Anzahl von Staaten die Möglichkeit erhalten, angereichertes Uran zu produzieren. Dies könnte zur allgemeinen Einführung von taktischen Atomwaffen in allen industrialisierten Staaten führen.

Eine Entscheidung zugunsten der einen oder andern Alternative scheint heute verfrüht, da ausreichende technische Unterlagen für die zuverlässige Beurteilung der Erfolgsaussichten der Zentrifugenentwicklung (Herstellung von hochangereichertem Uran) und des personellen, finanziellen und zeitlichen Aufwandes für beide Wege fehlen. Die in diesem Bericht angestellten Schätzungen führten bloss zur Feststellung einer annähernd richtigen Grössenordnung. Detaillierte Untersuchungen mit Hilfe von Vorprojekten und auf Grund eingehender Vorstudien werden wahrscheinlich noch manche Korrekturen bringen, welche die aufgeführten Zahlen wohl nicht um einen Faktor 10, aber vielleicht um Faktoren 2-3 ändern könnten. Allfällige Schwankungen bei Preisen und Löhnen liegen aller Voraussicht nach innerhalb der Unsicherheit der Schätzungen, sodass verzichtet wurde, bei den finanziellen Angaben ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass diese auf dem heutigen Kostenniveau basieren.

Neben den Möglichkeiten, die sich aus der in verschiedenen Ländern durchgeführten Zentrifugenentwicklung ergeben, muss auch erwähnt werden, dass die wissenschaftliche und technische Forschung in anderen Sektoren, insbesondere auf dem Gebiete der Plasmaphysik, zu neuen Perspektiven für die Beschaffung von Kernwaffen führen könnte.

Es darf angenommen werden, dass gewisse Staaten ihre zivilen Anstrengungen zur Erschliessung der Atomenergie mit Arbeiten zur Vorbereitung einer eigenen Atomwaffenproduktion verbinden. Beispielsweise zeigt eine Analyse der schwedischen Anstrengungen in der Reaktorentwicklung, dass dieses Land, ohne dass die Regierung sich für eine Atomwaffenproduktion entschieden hat, doch wesentliche Vorbereitungen in dieser Richtung trifft. Die Uranproduktionsanlage in Ranstad, welche Uran zu Preisen herstellen wird, die wesentlich über dem Weltmarktniveau liegen, ist ein Beispiel, die Forschungsgruppen in Studsvik für die Untersuchung von Plutonium und der Extraktionsverfahren für dieses Element ein anderes. Die schwedische staatliche Atomenergiegesellschaft verfügt sodann über eigene Anlagen zur Herstellung von Brennstoffelementen. Aus diesen Anstrengungen kann geschlossen werden, dass Schweden eine Atomwaffenproduktion auf Plutoniumbasis für sich vorläufig am aussichtsreichsten betrachtet. Da dieses Land über sehr grosse unbewohnte Gebiete im hohen Norden verfügt und zudem einen direkten Zugang zu den Meeren

hat, bilden die Standortwahl für einen Produktionsreaktor, die Bereitstellung von Versuchsgelände für die Erprobung der Waffen und die Geheimhaltung solcher Projekte kein grosses Problem.

Falls auf politischer Ebene in nächster Zeit nicht entscheidende Fortschritte hinsichtlich eines allgemeinen Verbotes der Atomwaffen und einer wirksamen Kontrolle zu seiner Einhaltung erzielt werden können, besteht demnach die Möglichkeit, dass auf Grund von zivilen Anstrengungen in der Erforschung und Erschliessung der Atomenergie ~~weitere Staaten eine Atomwaffenrüstung~~ beginnen könnten.

In der Schweiz wäre es ebenfalls möglich, die auf dem Atomenergiesektor bestehenden zivilen Vorhaben im Hinblick auf die militärischen Bedürfnisse zu ergänzen. Entsprechende Arbeiten dürften bei richtiger Planung zu einem guten Teil sowohl für militärische als auch für zivile Zwecke verwendbar sein. Ihre Ergebnisse würden eine bessere Beurteilung der Aussichten für eine eigene Atomwaffenproduktion erlauben, ohne unerwünschte Präjudizien zu schaffen. Unsere Landesbehörde hätte somit die Möglichkeit, einen technisch fundierten Entscheid im politisch günstigsten Zeitpunkt zu fällen. Kapitel 7 enthält Vorschläge für derartige Vorstudien und Voruntersuchungen.

Mit einer eigenen Spaltstoffproduktion hat man noch nicht einsatzfähige Atomwaffen in der Hand. Von der Beschaffung der Waffenträger abgesehen, erfordert die waffentechnische Entwicklung von Atomsprengköpfen einen erheblichen Aufwand, der jedoch um einiges kleiner ist, als die für die Beschaffung des Spaltstoffes notwendigen Anstrengungen. Zu den wichtigsten auf diesem Gebiete zu lösenden Problemen gehören die Rekrutierung fähiger Spezialisten und die Beschaffung eines geeigneten Versuchsgeländes.

7. Weiteres Vorgehen

*Kern Hinweis auf
24.6. 1.77.*

Falls nicht andere Gründe, z.B. politische, der Vorbereitung einer eigenen Atombewaffnung entgegenstehen, sollten in nächster Zeit weitere Arbeiten und Abklärungen unternommen werden. Diese betreffen die folgenden Gebiete:

1. Beschaffung von Natururan. Angesichts der Vorteile einer ausreichenden eigenen Uranproduktion sowohl vom militärischen, wie auch vom zivilen Standpunkt aus, sollte die Abklärung der Abbauwürdigkeit der in der Schweiz gefundenen Uranvorkommen so bald als möglich an die Hand genommen werden.
2. Entwicklung von Zentrifugen. Das Zentrifugenverfahren hat potentiell so mannigfaltige Vorteile, dass durch eigene Studien und Entwicklungen abgeklärt werden sollte, ob man auf diesem Wege mit einem vernünftigen Aufwand zum gesteckten Ziele kommt. Die Resultate der schon seit einigen Jahren auf diesem Gebiete im Ausland arbeitenden Forschungsgruppen zeigen, dass die Konstruktion einer befriedigenden Zentrifuge mit hoher Drehzahl kein einfaches Problem ist. Eine Gewissheit für den Erfolg einer allfälligen schweizerischen Entwicklung besteht nicht. Ausländische Fachleute sind jedoch der Auffassung, dass in einigen Jahren die bei solchen Anlagen noch bestehenden technischen Probleme gelöst sein werden. Unsere Maschinenindustrie besitzt die nötigen Voraussetzungen, um eine solche Entwicklung durchführen zu können. Die erforderlichen Arbeiten umfassen Studien, experimentelle Untersuchungen und den Bau von einigen Prototypen. Die entsprechenden Anstrengungen können, falls sie zum Erfolg führen, auch für zivile Kernkraftwerke von Bedeutung werden, da vom wirtschaftlichen Standpunkt aus eine leichte Anreicherung des nuklearen Brennstoffes den Preis des Stromes aus solchen Anlagen senken kann.

3. Studium der Extraktionsverfahren für Plutonium und des Umganges mit diesem Stoffe.

Eine Atombewaffnung auf Plutoniumbasis stellt technisch keine ganz unbekanntem Probleme an unsere Wissenschaft und Technik. Zur Abschätzung des Aufwandes sollten sich aber einige Fachleute mit den Methoden zur Plutoniumextraktion und mit seinem Umgang vertraut machen. Eine entsprechende Arbeitsgruppe könnte in engem Kontakt mit der EUROCHEMIC Gesellschaft, an welcher die Schweiz beteiligt ist, erste Studien und Versuche durchführen. Auch diese Anstrengungen können später einmal, wenn die Verwendung des Plutoniums in Kernkraftwerken aktuell wird, im zivilen Sektor fruktifiziert werden.

4. Zusammenarbeit mit dem Ausland. Der Aufwand für eine eigene Atomwaffenproduktion könnte wesentlich vermindert werden, wenn eine gewisse technische Zusammenarbeit mit anderen Staaten möglich wäre. Schon ein Informationsaustausch auf diesem Gebiete würde wenigstens für die nächste Zeit eine wesentliche Hilfe in der Weiterverfolgung der entsprechenden Untersuchungen darstellen. Insbesondere erscheint eine Kontaktnahme zur Abklärung und Beschaffung der bereits vorhandenen ausländischen Kenntnisse über die folgenden Fragenkreise nützlich:

- a. Beschaffung von Natururan, eventuell Plutonium oder hochangereichertem Uran. Abklärung der Lieferbedingungen der bestehenden Grossproduzenten von Uran, der Möglichkeit der gemeinsamen Erschliessung ausländischer Vorkommen. Im Falle von Frankreich und Grossbritannien könnte eventuell sondiert werden, ob sie zur Lieferung von Plutonium oder später hochangereichertem Uran bereit sind, wobei strikte darauf zu achten wäre, dass die Bedingungen unserer Neutralitätspolitik eingehalten werden.
- b. Information über Plutonium-Produktionsreaktoren. Dabei handelt es sich in erster Linie darum, abzuklären ob Frankreich und Grossbritannien uns ihre Kenntnisse auf diesem Gebiete mindestens teilweise zur Verfügung stellen. Sodann wäre es von Interesse, die Möglichkeiten einer Zusammenarbeit mit Schweden auf diesem Gebiet zu erforschen.
- c. Plutonium-Extraktionsverfahren. Hier bestehen die gleichen Möglichkeiten wie bei Punkt b.
- d. Anreicherungsverfahren und Anlagen für Uran. Es sollte ausfindig gemacht werden, ob Deutschland, Holland, Grossbritannien oder Frankreich bei der Entwicklung von Ultrazentrifugen zu einer Zusammenarbeit bereit sind, und welche Informationen, eventuell auch Maschinen, erworben werden können.
- e. Waffentechnische Informationen. Für einen Informationsaustausch auf diesem Gebiete kommen Frankreich, Grossbritannien, Israel und Schweden in Frage. Eventuell könnte mit Schweden eine Zusammenarbeit vereinbart werden.

Erste Sondierungen hinsichtlich der Punkte b, c und e müssten durch militärische Stellen erfolgen, währenddem in bezug auf die Punkte a und d von ziviler Seite aus, allenfalls über die Industrie, mit den in Frage kommenden ausländischen Organisationen Kontakte herzustellen wären. Dabei dürfte man sich nicht mit blossen Berichten be-

gnügen, sondern müsste mit kompetenten Fachleuten persönlich in Verbindung treten können.

Die ständige Neutralität der Schweiz schliesst solche Sondierungen wie auch den Bezug von besondern Spaltstoffen oder einen Austausch von technischen Informationen mit ausländischen Staaten nicht aus. Es ist aber darauf zu achten, dass die Schranken der Neutralitätspolitik eingehalten werden. Mit den Leistungen des Auslandes dürfen keine politischen oder militärischen Bedingungen verknüpft sein, die die Schweiz in ein einseitiges Abhängigkeitsverhältnis von dem betreffenden Staat oder in ein allianzähnliches Verhalten zu ihm bringen könnten. Die Zusammenarbeit muss sich innerhalb eines rein kommerziellen Rahmens halten. Es gelten hier die gleichen Grundsätze wie für die Bezüge von Kriegsmaterial aus dem Ausland.

5. Waffentechnische Grundlagenforschung.

Die Rekrutierung von kompetenten Fachleuten für die waffentechnische Entwicklung dürfte auf grosse Schwierigkeiten stossen. Um die spätere Schaffung einer besondern Organisation für waffentechnische Entwicklungsstudien zu erleichtern, sollte frühzeitig mit vorbereitenden Arbeiten begonnen werden. Beispielsweise könnten auf dem Gebiete der Plasmaphysik kleinere gezielte Aufträge an Hochschulinstitute, insbesondere an die beiden schon bestehenden Forschungssequipen in Freiburg und Lausanne, erteilt werden. Ein solches Vorgehen würde einerseits die Ausbildung der benötigten Spezialisten fördern und andererseits einige grundlegende Erkenntnisse vermitteln, die für das Verständnis der Vorgänge im Augenblick einer Kernwaffenexplosion unentbehrlich sind.

Kosten und ausführende Organe

Die Kosten der Vorstudien werden auf etwa 5 Mio.Fr. für Punkt 1, 10 Mio.Fr. für Punkt 2 und 5 Mio.Fr. für die Punkte 3 und 5, d.h. total auf ca. 20 Mio.Fr. geschätzt, welche sich auf 2 - 3 Jahre verteilen.

Die Ausführung der Arbeiten könnte folgenden Organen übertragen werden:

- Punkt 1 und teilweise Punkt 2 der Industrie;
- Punkt 3 und teilweise Punkt 2 dem Eidg. Institut für Reaktorforschung;
- Punkt 5 verschiedenen Hochschulforschungsinstituten.

Die vorgeschlagenen Arbeiten legen den Bundesrat in keiner Weise fest, da sie sowohl für die zivilen wie für die militärischen Entwicklungen von Bedeutung sind.
