

ÖVS

ÖSTERREICHISCHER VERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ
AUSTRIAN ASSOCIATION FOR RADIATION PROTECTION
MITGLIED DER INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION (IRPA)

ÖVS-MITTEILUNG 1 / 1983

**SCHUTZ DER BEVÖLKERUNG VOR
DER STRAHLENWIRKUNG VON
KERNWAFFEN**

*Jahrestagung 1982 des Österreichischen Verbandes für
Strahlenschutz*

29. Juni 1982

Wien

ÖVS

ÖSTERREICHISCHER VERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ

AUSTRIAN ASSOCIATION FOR RADIATION PROTECTION

MITGLIED DER INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION (IRPA)

ÖVS - Mitteilung -- 1/83.

**SCHUTZ DER BEVÖLKERUNG VOR
DER STRAHLENWIRKUNG VON
KERNWAFFEN**

*Jahrestagung 1982 des Österreichischen Verbandes für
Strahlenschutz*

29. Juni 1982

Wien

DER DRUCK DIESES TAGUNGSBERICHTES WURDE DURCH
DAS GROSSZOGIGE ENTGEGENKOMMEN DER

ÖSTERREICHISCHEN FORSCHUNGSZENTRUM SEIBERSDORF
GESMBH

ERMÖGLICHT.

WIR DANKEN DER GESCHAFTSFOHRUNG DES ÖFZS
FOR DIE GEWAHRTE UNTERSTOTZUNG!

Inhaltsverzeichnis	Seite
Vorwort	1
E. Tschirf: Mögliche Arten von Kernwaffen	7
G. Kamelander: Initial- und Rückstandsstrahlung bei Kern- waffendetonationen	25
M. Tschurlovits: Langzeitwirkungen der bisher durchgeführten Kernbombentests	39 ✓
H. Frischauf: Biologische Wirkungen	51 ✓
P. Karacson: Strahlenschutzaspekte für den Schutzraumbau	65 ✓
R. Schultz: Schutzraumbau in Österreich	81 ✓
W. Jeschki: Die Alarmorganisation für den Fall erhöhter Radio- aktivität in der Schweiz	85
Autorenverzeichnis	97

Vorwort

Unsere Tagung beschäftigt sich in diesem Jahr mit einem Thema, über das man nicht gerne spricht, das uns aber alle betrifft.

Die Wirkung von Kernwaffen beruht nicht zuletzt auf der Emission von ionisierender Strahlung bzw. der Kontamination großer Gebiete mit radioaktiven Substanzen und wirft daher auch Probleme des Strahlenschutzes auf.

Es ist deshalb durchaus legitim, wenn sich der Österreichische Verband für Strahlenschutz in einer Informationstagung mit den technisch-physikalischen Gegebenheiten des Strahlenschutzes beim militärischen Einsatz der Kernenergie auseinandersetzt.

Zur Einführung in unser Thema soll ein kurzer Abriss der historischen Entwicklung der Kernwaffen vorangestellt werden:

Schon 1934 diskutierte man in der American Association for the Advancement of Science die mögliche Herstellung von Waffen, mit denen Kernenergie ausgenützt würde. Kein geringerer als Einstein zweifelte zu dieser Zeit noch an der Realisierung einer nuklearen Kettenreaktion.

Den Schlüssel für dieses Problem fanden Hahn und Straßmann 1939 mit der Entdeckung der neutroneninduzierten Kernspaltung unter Aussendung großer Energiemengen. Diese Entdeckung, für die Meitner und Frisch den theoretischen Unterbau schufen, beunruhigte vor allem eine Gruppe von Physikern, die vor Hitler in die USA emigriert waren und nun eine Möglichkeit des dritten Reiches sahen, durch eine

Superwaffe zur Weltherrschaft zu gelangen. Die Besorgnisse dieses Personenkreises wurden durch Vermittlung von Einstein an den Präsidenten der USA, F.D. Roosevelt, herangetragen, der einen Regierungsausschuß zum Studium des Problems ins Leben rief.

Nach dem Überfall auf Pearl Harbor setzte mit dem Kriegseintritt der USA eine Intensivierung dieser Bemühungen ein und führte im Juni 1942 zum Start des Projektes "Manhattan Engineer District", das unter der Leitung des Brigadegenerals Groves die physikalischen Grundlagen zur Schaffung einer Kernwaffe erarbeiten sollte. Vor allem waren Methoden zur Produktion von Spaltmaterial zu entwickeln. Aus den zahlreichen Versuchen resultierten zwei Möglichkeiten, die im Prinzip auch heute noch Geltung haben:

Die Herstellung von möglichst reinem Uran 235 durch Abtrennung dieses Isotopes von dem natürlich vorkommenden Gemisch mit U 238:

Das mit Hilfe der Gasdiffusion verwirklichte Anreicherungsverfahren lieferte den Spaltstoff für die ersten A-Waffen und ist auch heute noch zur Herstellung von Reaktorbrennstoff in Gebrauch.

Die Herstellung eines "künstlichen" Spaltstoffes, des Plutonium 239:

Plutonium als Transuran kann durch Beschuß von Uran 238 mit schnellen Neutronen erzeugt werden. Es war daher notwendig, eine möglichst starke Neutronenquelle zu schaffen, die genügend viele Neutronen liefern sollte, um in annehmbarer Zeit größere Mengen an Plutonium "erbrüten" zu können. Als beste Neutronenquelle bietet sich der Kernreaktor an und schon im Dezember 1942 gelang es E. Fermi,

eine erste kritische Anordnung fertigzustellen. Basierend auf den Erkenntnissen dieses Experimentes konnte 1944 ein großer Brutreaktor (Hanford/Wash.) in Betrieb genommen werden.

Parallel zu diesen Bemühungen entstand in Los Alamos/N.Mex. ein Laboratorium, in dem die Herstellung der Bombe und die notwendigen Tests durchgeführt wurden.

Am 16. Juli 1945 konnte die erste A-Bombe auf dem Alamogordo Air Base Gelände (N.Mex.) gezündet werden. Diese Waffe entwickelte eine Sprengkraft von 20.000 kt Trinitrotoluol und zeigte die fürchterlichen thermischen, mechanischen und Strahlenwirkungen dieser neuen Bombe zum ersten Mal.

Aufgrund von strategischen Überlegungen wurde dann am 6. August 1945 eine ähnliche Bombe auf die Stadt Hiroshima abgeworfen und tötete sofort 140.000 Menschen. Ein Gebiet von ca. 12 x 12 km² im Stadtinneren wurde dabei vollkommen zerstört. Unzählige Menschen erlitten Spätfolgen der Bestrahlung und noch heute ist für die Betroffenen mit einer wesentlich erhöhten Krebsrate zu rechnen.

Schon am 9. August wurde eine zweite Bombe (Plutonium, 20 kt TNT) über Nagasaki gezündet, wobei ähnliche Schadensfolgen auftraten.

Es ist interessant, die in der Zwischenzeit in Deutschland angestellten Aktivitäten zu betrachten:

Die deutsche Führung hatte die aus der Anwendung der Kernenergie resultierenden militärischen Möglichkeiten wahrscheinlich stark unterschätzt. Es wurde mit nur geringen Mitteln an der Entwicklung einer Reaktorordnung gearbeitet; auch durch Materialmangel bedingt gelang es nicht, bis zum

Ende des Krieges eine kritische Anordnung herzustellen. Die Alliierten fanden bei ihrem Einmarsch in Süddeutschland eine unterkritische Anordnung eines Natururan-Schwerwasser-Reaktors. Ein für die Zukunft bedeutendes Produkt der deutschen Forschungen ist allerdings die Entwicklung einer Ultrazentrifuge zur Anreicherung von U 235. Weiterentwicklungen dieses Verfahrens würden die Herstellung von Reaktorbrennstäben sehr verbilligen.

Nach Kriegsende bemühten sich die USA, die Kernwaffen so zu verkleinern, daß sie als taktische Bomben, Artilleriegeschosse etc. einsetzbar wurden.

Da andererseits die A-Bombe in ihrer Wirkung limitiert ist, begann man Überlegungen anzustellen, wie das Fusionsprinzip, das theoretisch beliebig hohe Energiefreisetzungen erlaubt, in der Waffentechnik anzuwenden sei.

Als ab 1949 auch die UdSSR im Besitz von A-Bomben war, wurde in den Vereinigten Staaten die Entwicklung der H-Bombe (Wasserstoff-Fusionsreaktion) forciert und es gelang unter Leitung von Teller bis 1952 die erste H-Waffe mit Erfolg zu erproben.

1953 zog abermals Rußland gleich und ein großer Wettlauf in Form von zahlreichen atmosphärischen und unterirdischen Bombenversuchen begann. Bis 1962 wurde insgesamt eine Sprengkraft von mehr als 100 Mt TNT freigesetzt. Die damit verbundene Kontamination der Atmosphäre und der darauffolgende radioaktive Niederschlag über der gesamten nördlichen Hemisphäre sind noch in "bester" Erinnerung. Auch heute noch kann man fast überall die langlebigen Substanzen dieser Experimente, wie Strontium 90 und Caesium 137, nachweisen.

In den folgenden Jahren traten immer mehr Staaten dem "Atomklub" bei, wie Großbritannien, Frankreich, China, Indien und möglicherweise andere, offiziell nicht genannte Länder.

Die letzte Neuigkeit dieser Entwicklung stellt die Neutronenbombe dar, die unter Vermeidung von Sachschäden möglichst rationell eine maximale Zahl von Menschen töten soll. Wenn auch das Prinzip dieser Waffe schon mit der H-Bombe realisiert war, so mußte doch zu ihrer Vervollkommnung ein neuer Spaltzünder mit sehr kleiner kritischer Masse geschaffen werden. Wenn der Anschein nicht trügt, dann ist dies zumindest in einem Land schon gelungen.

E. Tschirf

MÖGLICHE ARTEN VON KERNWAFFEN

E. Tschirf

Atominstitut der Österreichischen Universitäten Wien

1. Allgemeines

Nach der Entdeckung der Kernspaltung (1939, Hahn und Straßmann) war es naheliegend, diese neue Energiequelle auch zur Herstellung einer Superwaffe - der Atombombe - zu verwenden. Bekanntlich wurde die erste Waffe dieser Art gegen Ende des 2. Weltkrieges in Japan eingesetzt.

Die Anwendung der Fusionsreaktion zwischen Wasserstoffisotopen ermöglicht den Bau einer noch wirksameren Waffe. Die erste nach diesem Prinzip hergestellte "Wasserstoffbombe" wurde 1962 erprobt. Eine Weiterentwicklung der H-Bombe führt zu einer neuen Waffe, der "Neutronenbombe", die vor allem als taktisches Kampfmittel verwendet werden könnte.

Die Wirkung der Kernwaffen beruht auf drei Effekten:

- Hitzeblitz, durch den Personen direkt bei Bestrahlung oder indirekt durch Auslösung von Bränden betroffen sind. Der Hauptschaden der beiden in Japan abgeworfenen A-Bomben entstand durch Feuerstürme, die in den betroffenen Städten entfacht worden waren.
- Druckwelle, die zu großen mechanischen Zerstörungen führt
- Strahlenwirkung. Die von konventionellen Kernwaffen direkt und indirekt emittierte ionisierende Strahlung beinhaltet nur 10 - 15% der gesamten freiwerdenden Reaktionsenergie; ihre besondere Gefahr ist durch die weitreichende und lange Zeit anhaltende Wirkung gegeben. Die Strahlenwirkung wird willkürlich in zwei Phasen unterteilt:

- Die Anfangsstrahlung in der ersten Minute der Detonation, die aus Spaltneutronen und bei der Spaltung freiwerdenden Photonen besteht, sowie auch von kurzlebigen Spaltprodukten ausgesendete Strahlung beinhaltet, und
- die nach der Anfangsstrahlung auftretende Rückstandsstrahlung. Sie entsteht vor allem durch die Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Atmosphäre und ihre anschließende Ablagerung am Boden (Fallout). Dabei kommt es zu großräumigen und lange Zeit anhaltenden Kontaminationen, deren Ausbreitungsbereiche bzw. radiologische Wirkungen sehr stark von meteorologischen Effekten abhängen.
Ein Teil der Rückstandsstrahlung kommt dadurch zustande, daß gewisse Nuklide durch Neutronen der Anfangsstrahlung aktiviert werden (induzierte Radioaktivität).

Schließlich muß noch ein weiterer Strahlungseffekt erwähnt werden, der erst in den letzten Jahren in der Öffentlichkeit bekannt geworden ist und unter dem Namen "elektromagnetischer Puls" in die Medien Eingang gefunden hat: Durch das Auftreten von überaus hohen elektrischen und magnetischen Feldstärken ist der Ausfall von manchen elektronischen Systemen wie Nachrichtenübermittlung, Regelungen etc. zu befürchten.

Im Gegensatz zu den herkömmlichen A- und H-Bomben weist die Neutronenbombe bei möglichst geringer mechanischer und thermischer Wirkung einen besonders hohen Anteil an Strahlungsenergie auf, hauptsächlich als schnelle Neutronen. Bei ihrem Einsatz wird also vor allem Leben vernichtet, während Bauwerke, Fahrzeuge etc. relativ wenig Schaden erleiden. Da die Abschirmung von Neutronen gegenüber der Photonenstrahlung auf vollkommen anderen Mechanismen beruht, ergeben sich gegenüber den anderen Kernwaffen veränderte Schutzbedingungen.

2. Die A-Waffen

Das physikalische Prinzip der Kernspaltung ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Als Spaltmaterial eignen sich vor allem Uran 235 und Plutonium 239; beide Nuklide weisen annehmbare Wirkungsquerschnitte auch für schnelle Neutronen auf und sind in technischem Maßstab herstellbar. Bei jeder Spaltung werden ca. 2,5 neue Neutronen frei, sodaß im Prinzip eine Kettenreaktion mit rascher Vermehrung der Spaltungsrate und steigender Freisetzung von Energie möglich ist. Wie im Schema ersichtlich ist, entstehen neben der Strahlungs- und Energiefreisetzung bei der Spaltung auch radioaktive Spaltprodukte, die unter Aussendung von Photonen- und Betastrahlung, in Einzelfällen auch von Neutronen, über meist mehrere Zwischenprodukte zu einem stabilen Endprodukt zerfallen.

Bei jeder Spaltung wird eine Gesamtenergie von etwa 200 MeV (entspricht $8,9 \cdot 10^{-18}$ kWh) freigemacht, wobei ca. 22 MeV in Form von Strahlungsenergie auftreten. Die Umwandlung der Masse von 1 kg U 235 entspricht der Energie von 20.000 kt TNT (Trinitrotoluol), das sind 24.000 GWh.

Zur Einleitung bzw. Aufrechterhaltung der nuklearen Kettenreaktion im Spaltmaterial ist es notwendig, daß die aus einer Spaltung entstehenden Neutronen mehr als eine neue Spaltreaktion bewirken. Die Anordnung des Spaltmaterials befindet sich dann im prompt kritischen Zustand mit schnellen Neutronen. Für den Ablauf der Kettenreaktion spielt daher der Neutronenhaushalt im Spaltstoff eine bedeutende Rolle. Neutronen, die innerhalb des Spaltsatzes entstehen, können neue Spaltreaktionen (Abb. 1) hervorrufen und somit eine Vermehrung der Neutronen bewirken. Sie können aber auch ohne Spaltung mit den Atomen des Spaltmaterials oder anderer Stoffe im Spaltsatz reagieren; sie können überhaupt aus dem Spaltsatz austreten, ohne irgendeine Reaktion hervorgerufen zu haben.

In diesen Fällen ist also mit Neutronenverlusten zu rechnen. Bei der Auslegung des Spaltsatzes muß auf diese Umstände geachtet werden und es zeigt sich, daß abhängig von verschiedenen Parametern eine bestimmte Mindestmenge an Spaltmaterial vorhanden sein muß, damit eine Kettenreaktion überhaupt eintreten kann - die "kritische Masse".

Die kritische Masse hängt von der Art und Konsistenz des Spaltstoffes und seiner geometrischen Form ab. Sie kann auch durch äußere Maßnahmen, wie Neutronenreflektoren etc. beeinflußt werden.

Als optimale Form für den Spaltstoff bietet sich die Kugel an, bei der die günstigsten Volumens-Oberflächenrelationen gegeben sind.

Tabelle 1 zeigt einige Werte für die kritische Masse unter bestimmten Bedingungen; die Angaben stammen aus einer Publikation der USAEC /1/.

Tabelle 1: Kritische Massen bei Anordnung des Spaltstoffes in Kugelform

Spaltstoff	Reflektor	Kritische Masse
Uran 235; Anreicherung 93,9%	keiner	48,8 kg
	Natururan Stärke 20,3 cm	16,3 kg
Plutonium 239, rein	keiner	16,28 kg
	Natururan Stärke 24,0 cm	5,7 kg

Rechnerisch läßt sich die kritische Masse einer kugelförmigen Uran 235-Anordnung ohne Reflektor nach einer empirisch ermittelten Formel, die verschiedene Autoren /2/ zitieren, bestimmen:

$$R = \frac{\pi \cdot A}{d \cdot N_0 (3\sigma_t \nu \sigma_f)^{1/2}} - \frac{0,71A}{d \cdot N_0 \sigma_t}$$

- R Radius der kritischen Masse in cm
d Dichte des Uran in g/cm³
N₀ Loschmidtsche Zahl = 6,023 · 10²³/Mol
σ_t totaler Wirkungsquerschnitt = 7 barn (1 barn = 10⁻²⁴ cm²)
σ_f Spaltquerschnitt = 1 barn
ν..... durchschnittliche Zahl der Neutronen, die je absorbiertem Neutron bei der Spaltung ausgesandt werden = 2,46.

Aus wirtschaftlichen und konstruktiven Gründen ist es wünschenswert, die kritische Masse einer A-Waffe mit wenig Spaltstoff zu realisieren. Neben der Möglichkeit, einen Reflektor zu verwenden (siehe auch Tabelle 1), ist aus der obigen Formel und physikalischen Überlegungen nach /2/ abzuleiten, daß sich die kritische Masse etwa umgekehrt zum Quadrat der Dichte des Spaltmaterials verhält. Durch Kompression mit chemischen Sprengstoffen (z.B. mit einer Hohlladung), bei der Drücke im Bereich von 10⁶ Bar auftreten, könnten kritische Massen für U 235 oder Pu 239 von unter 0,1 kg erreicht werden.

Zur Einleitung der Kettenreaktion (Zündung) einer A-Waffe werden unterkritische Mengen von Spaltstoff zur kritischen Masse vereinigt. Der Wirkungsgrad der Waffe hängt davon ab, welcher Anteil des vorhandenen Spaltmaterials in Energie umgesetzt werden kann. Aus diesem Grund soll die Bildung der kritischen Masse in möglichst kurzer Zeit erfolgen, damit die Kettenreaktion nicht schon vor dem Aufbau des vollständigen Spaltsatzes eintritt und durch Freisetzung von Energie die optimale Konfiguration nicht erreicht wird.

Es ist auch sehr wesentlich, daß die Kettenreaktion möglichst lange anhält, damit eine maximale Zahl von Spaltungen entsteht. Durch die auftretenden hohen Temperaturen verringert sich rasch die Dichte des Spaltmaterials, sodaß bald die Kritikalitätsbedingung unterschritten wird und die Spaltreaktion erlischt. Die Verzögerung dieses Vorganges ist angesichts der hohen Drücke und Temperaturen, z.B. mit Hilfe eines "Massenkäfigs" aus möglichst schwerem Material möglich. Die Expansion des Spaltsatzes wird dabei lediglich durch die Massenträgheit dieses als Ummantelung angeordneten Materials verzögert.

Die ersten A-Waffen waren nach dem relativ einfach herzustellenden "Kanonenprinzip" (guntype) entsprechend Abb. 2 aufgebaut. Zwei Teilstücke der kritischen Masse befinden sich in einem Druckrohr ("Kanonenrohr") und werden zur Zündung durch einen chemischen Treibsatz vereinigt. Die Anordnung ist mit einem Mantel aus Schwermetall (Uran) umgeben ("Tamper"), der sowohl als Massenkäfig als auch als Reflektor für austretende Verlustneutronen dient. Eine Bombe dieser Art wurde über Hiroshima abgeworfen. Bedingt durch das Kanonenprinzip benötigt die Vereinigung der Teilmassen relativ viel Zeit, sodaß die Waffe mit schlechtem Wirkungsgrad arbeitet. Im Verhältnis zu der freigesetzten Energie muß eine große Menge an Spaltstoff eingebaut werden; die Konstruktion ist schwer und voluminös, sodaß ihr Transport nur mit Hilfe eines Großflugzeuges möglich war.

Wesentlich bessere Ergebnisse erreicht man mit dem Implosionsprinzip (implosiontype) nach Abb. 3. Der Spaltstoff bildet zunächst eine unterkritische Hohlkugel, die von einem konventionellen Sprengsatz umgeben ist. Zur Zündung wird dieser Sprengsatz über seine ganze Oberfläche zur Explosion gebracht, wodurch sehr hohe Drücke auf die Spaltstoffkugel wirken und sie komprimieren. Die dadurch entstehende Voll-

kugel, in der u.U. auch die Spaltstoffdichte erhöht sein kann, bildet nun eine kritische Masse. Da der Kompaktierungsvorgang wesentlich rascher abläuft wie beim Kanonenprinzip, ist mit einem gesteigerten Wirkungsgrad zu rechnen. Die den Spaltstoff umgebende Hochdruck-Gaswolke wirkt auch als Neutronenreflektor, bzw. verzögert die Expansion der kritischen Masse. Die in Nagasaki eingesetzte Bombe beruhte auf dem Implosionsprinzip.

Waffen nach dem geschilderten Prinzip sind mit wesentlich geringeren Mengen an Spaltmaterial realisierbar und können wegen ihrer kompakten Bauweise auch mit Raketen oder Artilleriegeschossen abgeschossen werden.

A-Waffen lassen sich mit Sprengkräften im Bereich von einigen kt bis zu mehreren 100 kt TNT herstellen; die in Hiroshima abgeworfene Bombe entsprach einer Energie von 20.000 kt TNT.

3. Die H-Waffen

Kernenergie kann auch bei der Vereinigung von leichten Kernen (Wasserstoffisotopen) zu einem schwereren Kern (Helium) freigesetzt werden. Eine derartige Fusionsreaktion mit besonders hoher Energiefreisetzung ist durch die Vereinigung von Deuterium ("schwerer Wasserstoff" = ${}^2_1\text{H}$) mit Tritium ("überschwerer Wasserstoff" = ${}^3_1\text{H}$) zu Helium (${}^4_2\text{He}$) gegeben, wie dies in Abb. 4 dargestellt wird. Bei dieser D-T-Reaktion entsteht ein freies Neutron, das sich zusammen mit dem Heliumkern die Reaktionsenergie von insgesamt 17,6 MeV teilt. Entsprechend dem Impulssatz entfällt auf den He-Kern eine Energie von 3,5 MeV, auf das Neutron 14,1 MeV. Zur Vereinigung müssen die beiden Reaktionspartner zunächst die zwischen ihnen wirkenden elektrostatischen Kräfte überwinden. Dazu ist eine Stoß-Energie von mehr als 100 keV erforderlich, die z.B. bei Versuchen in Beschleunigermaschinen leicht aufgebracht werden kann. Um eine große Zahl von Fusionsreaktionen hervorzurufen, muß ein anderes Prinzip, die thermonukleare Fusion, angewendet werden:

Die Wasserstoffisotope werden in gasförmigem Zustand sehr hohen Temperaturen ausgesetzt, wobei sie hohe kinetische Energien annehmen. Die für die Fusion notwendige Reaktionsenergie wird bei Temperaturen von mehr als 10^7 °C erreicht. Zur Zündung muß das Deuterium-Tritium-Gemisch zunächst aufgeheizt werden und erhält dann die Reaktion mit Hilfe der freiwerdenden Kernenergie so lange aufrecht, bis die auch hier geltenden Kritikalitätsbedingungen durch Substanzverbrauch bzw. Dichteänderungen, Wärmeverluste etc. nicht mehr gegeben sind.

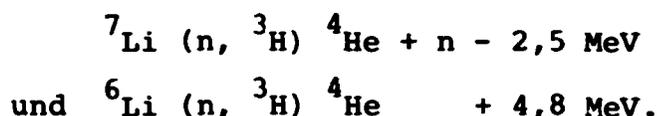
Die derzeit einzige Möglichkeit zur Auslösung einer thermonuklearen Reaktion mit Freisetzung großer Energiemengen ist durch die Verwendung der Kernspaltungsreaktion gegeben, die die notwendigen Temperaturen erzeugt.

Zur Herstellung einer H-Waffe sind einige technische Möglichkeiten gegeben:

Nach Abb. 5 bildet den Fusionssatz ein Gemisch aus flüssigem Deuterium und Tritium, das einen herkömmlichen Spaltsatz umgibt. Wegen der ungünstigen thermischen Bedingungen für die Lagerung des Wasserstoffgemisches (20°K) muß der Behälter dauernd gekühlt werden, z.B. durch flüssigen Wasserstoff, der zwischen den doppelten Wänden des Behälters zirkuliert. Die dazu benötigte Anordnung ist schwer und weist ein hohes Gewicht auf. (Nach US-Angaben hatte eine derartige Versuchsbombe eine Masse von 60 t bei den Abmessungen eines Lastwagens). Die Einsatzmöglichkeiten dieser Waffe sind daher sehr beschränkt. Im Hinblick auf eine Langzeitlagerung derartiger Bomben muß außerdem berücksichtigt werden, daß Tritium ein radioaktives Nuklid ist, das mit einer Halbwertszeit von 12,5 Jahren zerfällt. Der Vorrat an dieser Substanz wird sich daher immer mehr verringern.

Das Tritium-Deuterium-Problem kann durch Anwendung eines anderen Prinzipes wesentlich besser gelöst werden:

Als Fusionsmaterial wird dabei Lithiumdeuterid (LiD) verwendet, das als feste und leichte Substanz einfach zu handhaben ist. LiD enthält bereits Deuterium; das benötigte Tritium kann im Moment der Bombenzündung durch Kernreaktionen des Lithium mit Neutronen gewonnen werden:



Zur Auslösung einer Fusionsreaktion mit LiD ist daher Neutronenstrahlung und Wärme erforderlich. Aus 1 kg LiD läßt sich theoretisch ebensoviel Energie gewinnen, wie aus 4,5 kg U 235.

Obwohl die Spaltreaktion Neutronen und Wärme liefert, reicht sie scheinbar nicht aus, um eine H-Waffe mit LiD-Satz voll zu zünden. Eine mögliche Lösung wäre die in Abb.6 dargestellte Dreistufen-H-Waffe:

Sie besteht aus einem konventionellen A-Zündsatz, der von einem kleinen H-Zündsatz mit D-T-Gemisch umgeben ist. Der Hauptteil der Bombe besteht aus LiD. Dieses Material ist von einem Mantel aus Uran, Kobalt, Zink u.a. umgeben. Der Ablauf der Reaktion ist in Abb.7 vereinfacht dargestellt. Der A-Spaltsatz liefert die erste Wärme zur Zündung des D-T-Zwischensatzes, der dann durch seine Fusionsreaktion größere Mengen an Wärme und starke Neutronenströme abgibt, die die Reaktion in LiD einleiten. Bei der D-T-Reaktion wird der größte Teil der freiwerdenden Reaktionsenergie als kinetische Energie dem Neutron zugeteilt, die H-Waffe ist eigentlich schon eine Neutronenbombe mit intensiver Neutronenstrahlung. Um die Neutronenenergie in Wärme bzw. mechanische Energie umzuformen, müssen die Neutronen mit den Kernen des Mantelmaterials Wechselwirkungen eingehen. So kommt es z.B. bei Ummantelung mit Uran 238 zu Spaltreaktionen, bei denen kinetische Energie und zusätzliche Neutronen freigesetzt werden ("Fission-Fusion-Fission-Waffe")

Durch einen Mantel aus Kobalt wird unter Neutroneneinwirkung das radioaktive Isotop Co 60 erzeugt, das dann eine starke und sehr langlebige Kontamination der Umgebung verursacht ("Kobaltbombe").

H-Waffen wurden mit Energiefreisetzen bis in den 100 Mt TNT-Bereich erprobt. Ihre Zerstörungswirkung übertrifft demnach die A-Waffen um viele Größenordnungen.

4. "Neutronenbomben" (Waffen mit erhöhter Strahlungswirkung)

Wie in den vorhergegangenen Abschnitten erwähnt wurde, tritt der größte Teil der bei der D-T-Reaktion freiwerdenden Energie als kinetische Neutronenenergie auf, d.h. es werden sehr schnelle 14,1 MeV-Neutronen emittiert. Da jedoch eine Spaltreaktion als Zünder für die Fusion erforderlich ist, wird die Detonation einer Wasserstoffbombe immer mit Abgabe von Wärme, Druckenergie sowie mit Ausbreitung von radioaktivem Fallout verbunden sind. Es hat sich eingebürgert, in diesem Zusammenhang von mehr oder minder "sauberen" oder "schmutzigen" Bomben zu sprechen, wobei damit das Verhältnis der radioaktiven Verunreinigungen zu der Sprengkraft der Bombe gemeint ist. Durch entsprechende Vergrößerung des Fusionssatzes gegenüber dem Spaltsatz bzw. durch Weglassen des Bombenmantels lassen sich relativ "saubere" H-Waffen herstellen. Da jedoch die herkömmlichen Spaltsätze gewisse Dimensionen nicht unterschreiten können, sinkt der "Sauberkeitsgrad" der Waffe mit ihrer Sprengkraft ab, kleine H-Bomben können nur als relativ "schmutzige" Kernwaffen hergestellt werden.

Die Neutronenbombe ist dagegen eine recht kompakt ausgeführte H-Waffe mit geringer thermischer und mechanischer Energiefreisetzung und hohem "Sauberkeitsgrad", deren Wirkung vor allem auf intensiver Neutronenstrahlung beruht. Die Realisierung eines Sprengkörpers im kt TNT-Bereich, der diesen

Anforderungen entspricht, ist nur möglich, wenn ein Spaltsatz mit sehr geringer kritischer Masse verwendet wird. Dazu kann im Prinzip Spaltmaterial mit sehr hohen Spaltquerschnitten (wie verschiedene Transurane, z.B. Californium 252) eingesetzt werden. Allerdings ist die Erzeugung dieser Spaltstoffe mit derart hohen Kosten verbunden, daß sie derzeit als Bombenzünder kaum in Frage kommen dürften.

Mehr Erfolg verspricht die schon diskutierte Möglichkeit, durch Erhöhen der Dichte von herkömmlichen Spaltstoffen wie Uran oder Plutonium, zu verkleinerten kritischen Massen zu kommen. In Verbindung mit Hohlladungen ließen sich, wie schon erwähnt, kritische Massen im Bereich 10 - 100 g realisieren. Ob derartige Zündsätze tatsächlich existieren und bereits erprobt worden sind, ist aus verständlichen Gründen nicht in Erfahrung zu bringen.

5. Übersicht zur Strahlenwirkung bei den verschiedenen Systemen

Abb.8 zeigt einen Vergleich über die Wirkung der Anfangsstrahlung einer herkömmlichen 50 kt-Waffe gegenüber einer 1 kt-Neutronenbombe. Besonders für H-Waffen ist die Angabe der Strahlungswirkung mit großen Unsicherheiten behaftet, da die Strahlung durch komplexe und von der Waffentype abhängige Vorgänge erzeugt wird. Dennoch kann man allgemein sagen, daß die mutmaßliche Wirkung der 1 kt-Neutronenbombe durch Neutronenstrahlung die Strahlenschädigung der 50 kt-Bombe bei weitem übersteigt, während die thermischen und mechanischen Auswirkungen der Neutronenbombe auf sehr kleine Gebiete beschränkt bleiben (nach /3/).

Wichtig ist auch die Feststellung, daß Neutronen durch bestimmte Materialien, die für die Gammastrahlung der herkömmlichen Bomben einen guten Schutz bieten, nur sehr wenig geschwächt werden. Zur Schwächung von 4,5 MeV-Photonen auf 1/10 ihrer Intensität ist eine Schicht von 13 cm Eisen erforderlich. Für die gleiche Abschirmwirkung gegenüber 14,1 MeV-Neutronen sind dagegen schon 20 bis 35 cm Eisen nötig. Andererseits ist bei Verwendung von Beton kein so großer Unterschied zu bemerken: Die Zehntelwertsschicht gegenüber 4,5 MeV-Photonen beträgt 40 cm, gegenüber 14,1 MeV-Neutronen 33 bis 50 cm. Daß sich aus diesen Effekten militärische Konsequenzen ergeben, liegt auf der Hand.

Eine erst in den letzten Jahren bekanntgewordene Auswirkung der Anfangsstrahlung, vor allem von Waffen im Mt-Bereich, die in großen Höhen gezündet werden, ist der elektromagnetische Puls. Durch die von Photonen erzeugten Sekundärelektronen wird u.a. durch den Einfluß des magnetischen Erdfeldes elektromagnetische Strahlung erzeugt, die innerhalb eines Zeitraumes von 10 - 20 ns elektrische Feldstärken im 10^5 V/m-Bereich und magnetische Feldstärken im 10^4 A/m-Bereich hervorruft. Diese Felder reichen aus, um gewisse moderne elektronische Bauteile wie Mikroprozessoren, Speicher usw. maßgeblich zu beeinflussen oder zu zerstören. Durch eine in großer Höhe gezündete Bombe könnten daher Nachrichtensysteme, Steueranlagen, Computer usw. eines ganzen Landes ausgeschaltet werden. Abb. 9 zeigt eine Darstellung nach /4/, in der die Wirkradien von in verschiedenen Höhen gezündeten Waffen eingetragen sind. Abhilfe gegenüber diesen Effekten ist nur durch entsprechende Abschirmung der empfindlichen Anlagen möglich.

Literatur

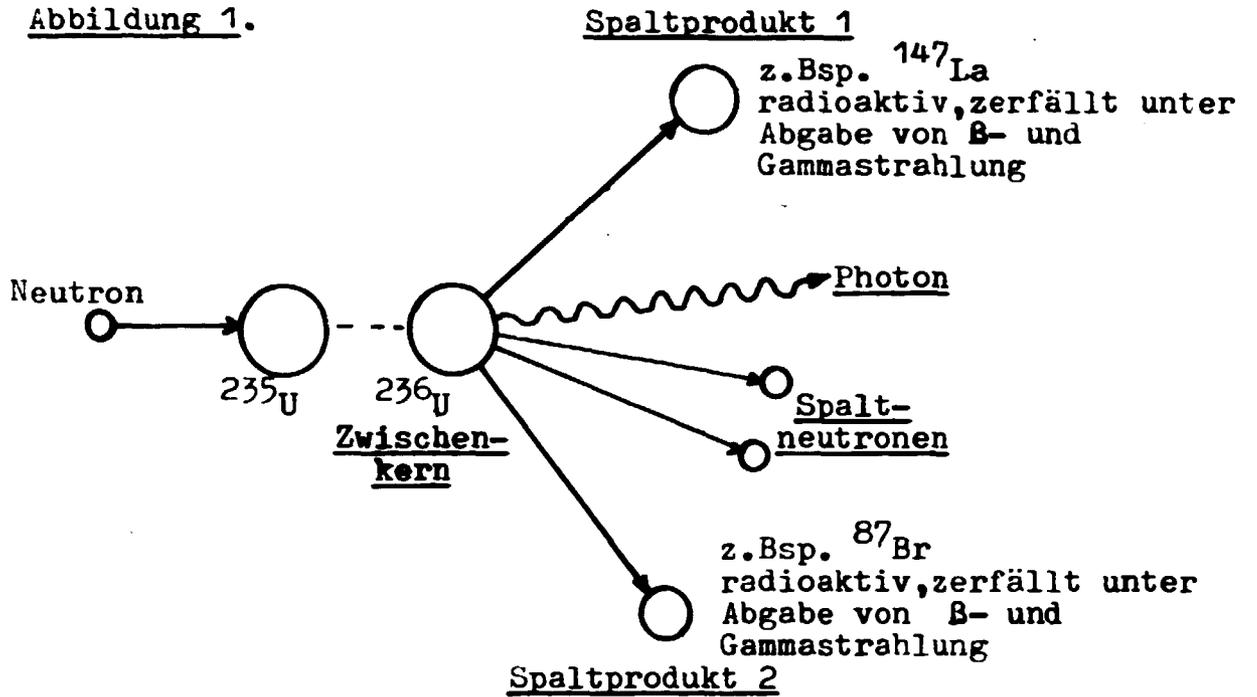
- /1/ USAEC ANL - 58000; Reactor Physics Constants

- /2/ "Kernexplosionen und ihre Wirkungen"
F. Demming, D.M. Harmsem und K.F. Saur
Fischer Bücherei, Frankfurt/M - Hamburg (1961)

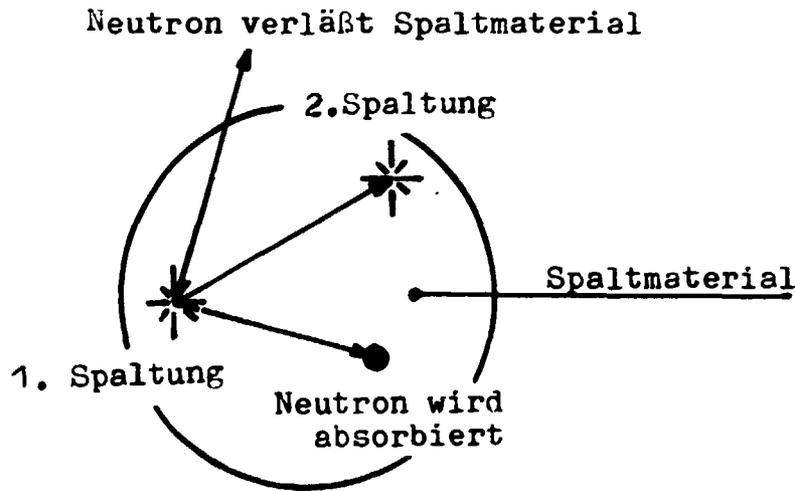
- /3/ "Atombomben mit verstärkter Neutronenstrahlung"
J. Frick
Physik in unserer Zeit (1979) H 3

- /4/ "Kann eine einzige Atombombe den Krieg entscheiden?
Wirkungen des elektromagnetischen Pulses"
H. Rademacher
Umschau 81 (1981) H 20

Abbildung 1.

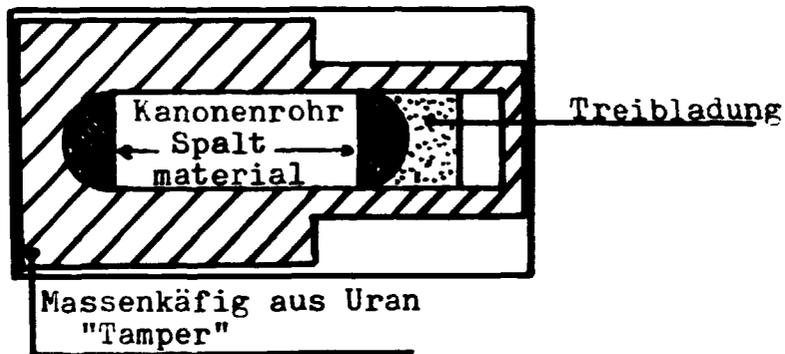


Schematische Darstellung der Kernspaltung von ^{235}U



Neutroneneffekte im Spaltmaterial

Abbildung 2.



A - Waffe nach dem Kanonenprinzip

Vor der Zündung:
Spaltstoff in Form
einer Hohlkugel;
umhüllt mit Sprengstoff



Bei der Zündung:
Spaltstoff ist durch Implosion zu einer Vollkugel komprimiert; Kritische Masse.

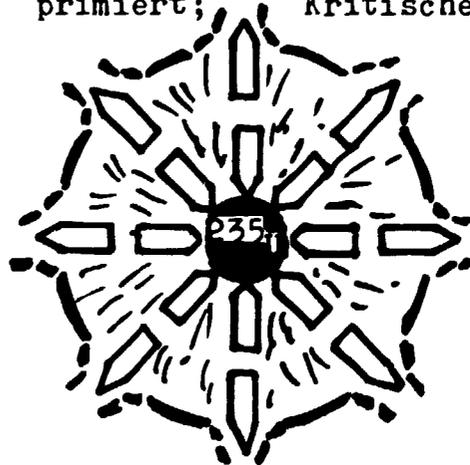


Abbildung 3. A - Waffe nach dem Implosionsprinzip

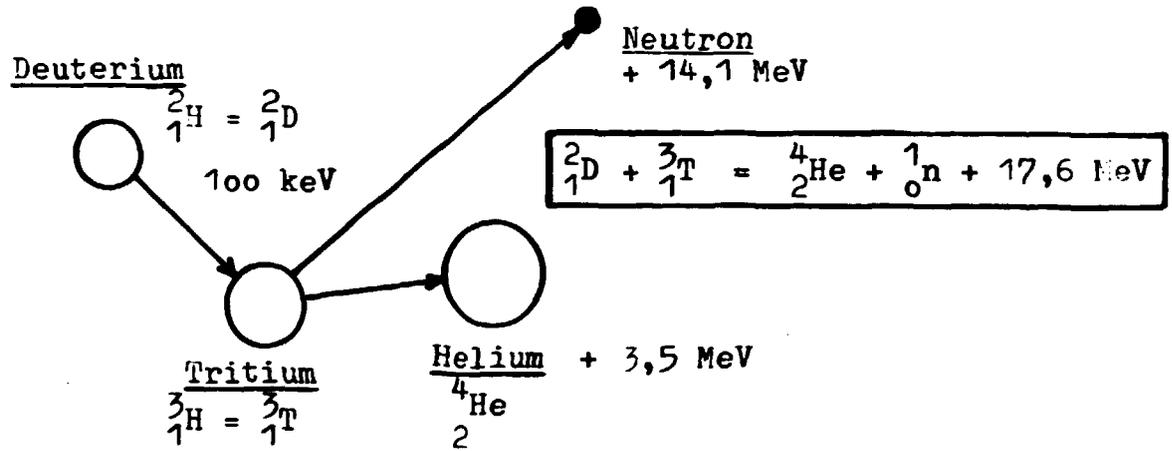


Abbildung 4 . Schematische Darstellung der D - T - Fusionsreaktion

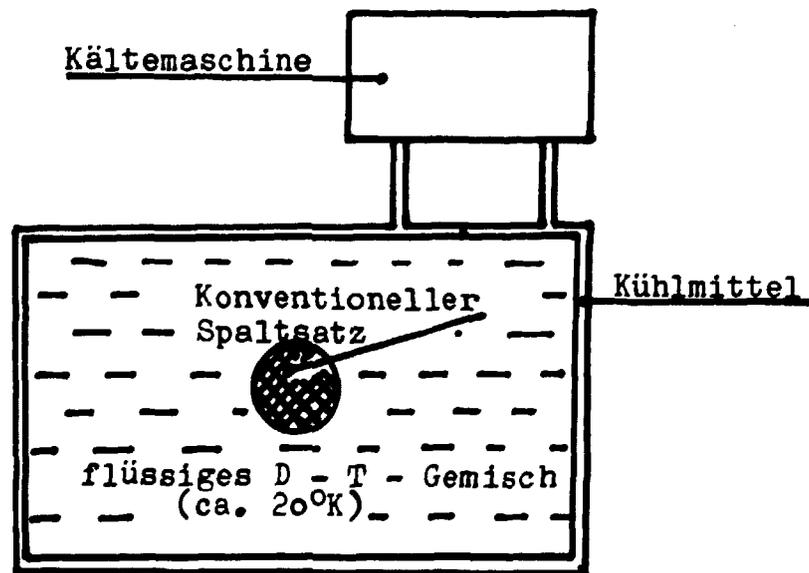


Abbildung 5 . H - Waffe mit flüssigem D - T - Gemisch.

Abbildung 6 . Schema einer Dreistufen - H - Waffe.

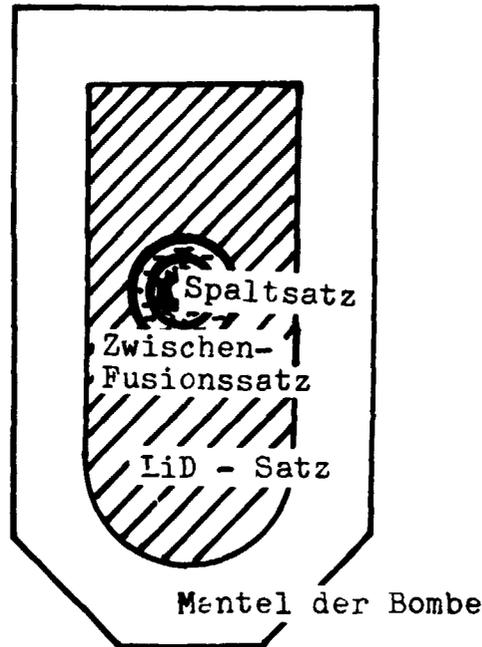


Abbildung 7 . Funktion der Dreistufen - H - Waffe

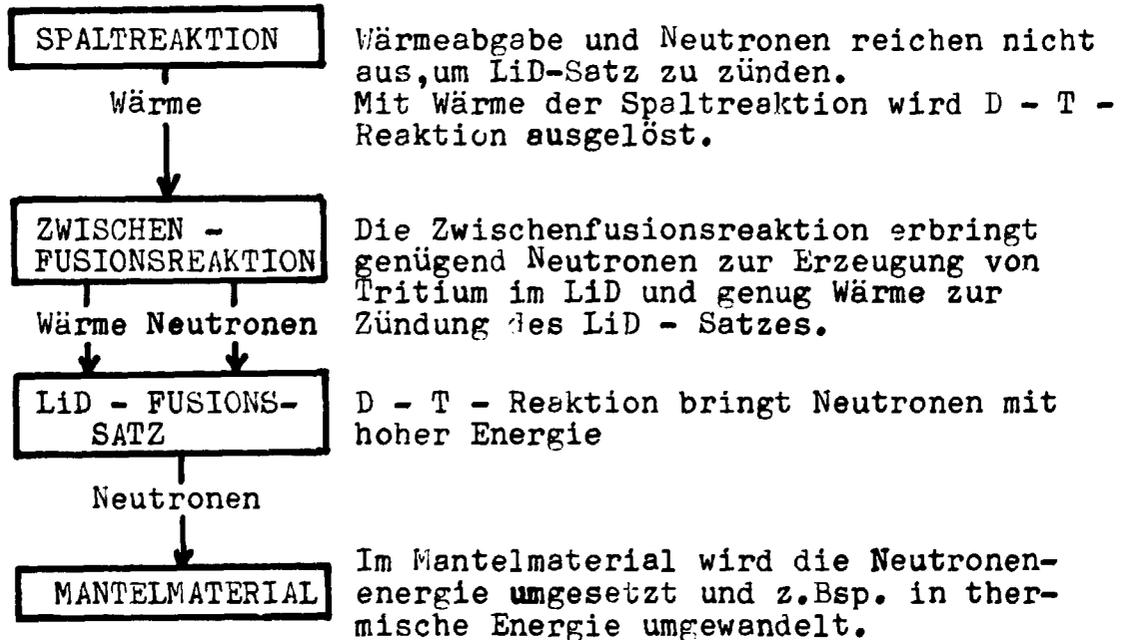


Abbildung 8 . Vergleich der Wirkungen einer 50 kt - A - Waffe gegenüber denen einer 1 kt - Neutronenbombe.

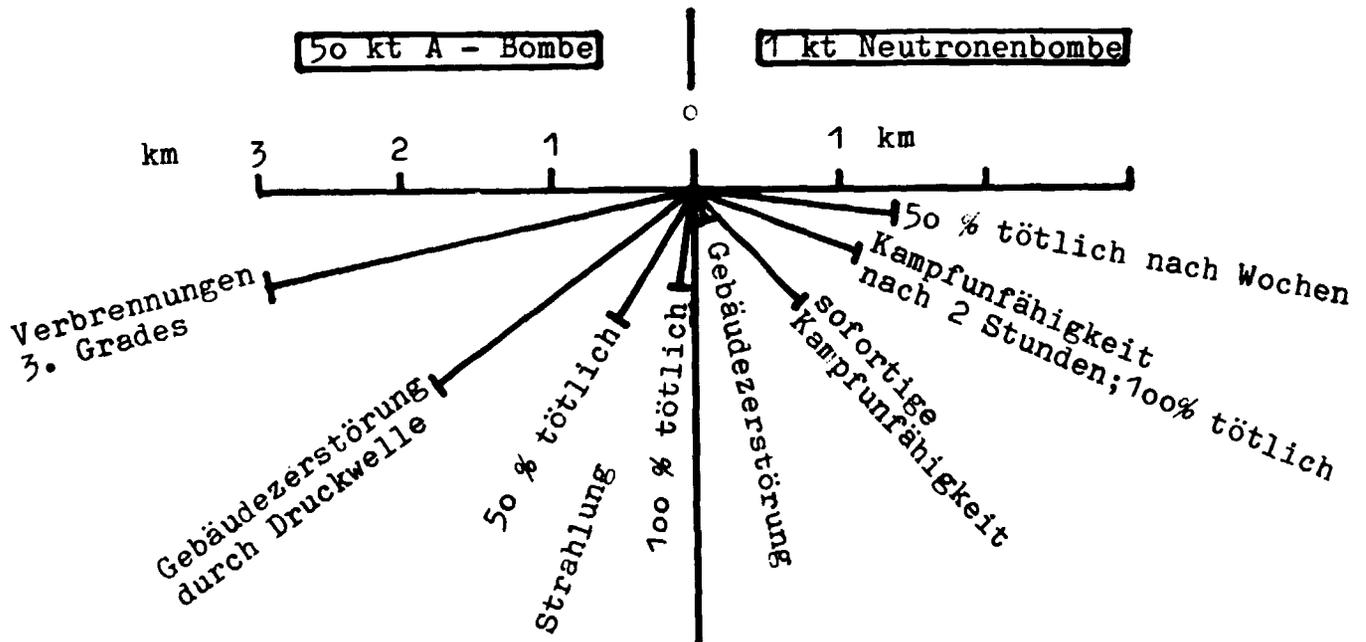
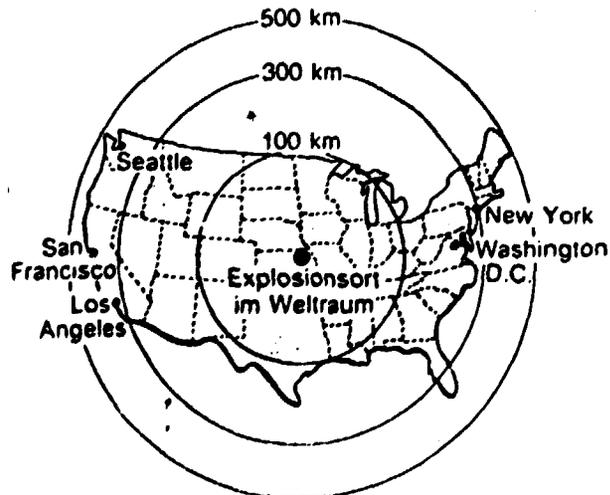


Abbildung 9 . Auswirkung des elektromagnetischen Pulses bei Zündung von H - Waffen in verschiedenen Höhen.

Die Kreise bedeuten jeweils die Begrenzung des Feldstärkegebietes von 50 kV/m.



INITIAL- UND RÜCKSTANDSSTRAHLUNG BEI KERNWAFFENDETONATIONEN

KURZFASSUNG

G. Kamelander
Österr. Forschungszentrum Seibersdorf, Institut für
Reaktorsicherheit

DETONATION

Zum besseren Verständnis der Entstehungsursachen und der Ausbreitung der bei einer Kernwaffendetonation freiwerdenden ionisierenden Strahlung wird ein kurzer Überblick über die wesentlichsten physikalischen Vorgänge gegeben, die sich bei einem solchen Detonationsvorgang abspielen. Da das Strahlenfeld einer detonierenden Kernwaffe von der Waffentype, der Sprengkraft, der Detonationshöhe und weiteren Parametern abhängt, wird das Thema möglichst allgemein und schematisch behandelt. Es wurde bereits im vorhergehenden Referat darauf hingewiesen, daß die Detonation einer Kernwaffe durch die Zündung eines chemischen Sprengsatzes eingeleitet wird, die den nuklearen Spaltstoff, der ursprünglich in einer unterkritischen Anordnung vorlag, in eine überkritische Masse überführt. Nun sind die Voraussetzungen für die Einleitung einer Kettenreaktion erfüllt, die durch Aufeinanderfolge von Neutronengenerationen gekennzeichnet ist, deren Populationsstärke rasch zunimmt. Man kann beispielsweise an Hand einer einfachen Rechnung zeigen, daß zur Freisetzung einer Detonationsenergie von 100 KT^{+) 53 Neutronengenerationen erforderlich sind. Zur Erzeugung dieser Energiemenge sind ca. 10^{25} Spaltungen erforderlich. Die Detonation läuft mit großer Rasanz ab. Da die mittlere Generationszeit nur etwa 0.01 Mikrosekunden beträgt, ergibt sich eine gesamte Detonationszeit von ca. 0.6 Mikrosekunden. Da jedoch 99.9%}

^{+) 1 KT = 1 Kilotonne TNT = $1,16 \cdot 10^6$ Kilowattstunden}

der Detonationsenergie von den letzten sieben Generationen erzeugt wird, kann man die effektive Detonationsdauer mit 0.1 Mikrosekunden angeben.

Etwa 80% der freigesetzten Energie wird als kinetische Energie auf die Spaltbruchstücke übertragen. Je 2 bis 3% entfallen auf die prompte Gamma- und Neutronenstrahlung, die unmittelbar während des Spaltvorganges freigesetzt wird. Die Spaltbruchstücke sind instabil und bauen ihren Neutronenüberschuß entweder durch Emission von Neutronen oder indirekt durch Aussendung von Betastrahlen ab. Auf Grund ihrer hohen Anregungsenergie sind die Spaltbruchstücke auch gamma-aktiv. Die von den Spaltbruchstücken emittierten Neutronen und Photonen bilden demnach die verzögerte Strahlung.

PHYSIKALISCHE VORGÄNGE UNMITTELBAR NACH DER DETONATION

Bevor auf die während und nach der Kernwaffendetonation freigesetzte ionisierende Strahlung näher eingegangen wird, soll zunächst das Schicksal des expandierenden Bombenmaterials weiterverfolgt werden.

Die Spaltprodukte treffen nun mit großer Wucht auf die Bombenreste auf. Dazu gehören der unverbrauchte Spaltstoff, der Stahlmantel, das Verdämmungsmaterial etc. Die Bombenreste verdampfen und bilden ein Gas mit extrem hohen Drücken und Temperaturen. Die Atome dieses Gases befinden sich in hochangeregten Energiezuständen und sind stark ionisiert. Das Gas, bestehend aus Elektronen, Vollionen und hochangeregten Teilionen, stellt somit ein Plasma dar, das nach ca. einer Mikrosekunde in einen Quasi-Gleichgewichtszustand eintritt und elektromagnetische Energie gemäß dem Stefan-Boltzmann'schen Gesetz abstrahlt. Der

Schwerpunkt des Spektrums liegt im Bereich der weichen Röntgenstrahlung.

Durch den soeben geschilderten Mechanismus wird die kinetische Energie der Spaltprodukte in elektromagnetische Strahlung umgewandelt, die auch als PRIMÄRSTRAHLUNG bezeichnet wird.

Diese Primärstrahlung wird nach wenigen Metern von der Luft absorbiert, wodurch diese erhitzt und zur Strahlenemission angeregt wird. Diese Strahlung, die größtenteils im Bereich des sichtbaren Lichtes liegt, wird als SEKUNDÄRSTRAHLUNG bezeichnet. Es bildet sich ein Feuerball aus. Durch die Erhitzung der Luft wird ein Teil der Primärstrahlung in kinetische Energie der Luftmoleküle transformiert.

Der Energietransport geht dabei so vor sich, daß ein primäres Photon zunächst von einem Atom oder Molekül absorbiert wird. Anschließend wird ein sekundäres Photon mit niedrigerer Energie emittiert, wobei die Energiedifferenz dem Atom als kinetische Energie verbleibt. Die durch diesen Mechanismus bedingte Wachstumsphase wird auch als radiative Wachstumsphase bezeichnet. Da die Dimension des Feuerballs in der Größenordnung von einer mittleren freien Weglänge eines Photons liegt, bildet sich kein Temperaturprofil aus. Man spricht auch von einer ISOTHERMEN KUGEL. Diese ist nicht sichtbar, da die Atmosphäre durch die voraneilende prompte Gammastrahlung getrübt wird.

Die isotherme Kugel dehnt sich nun aus und kühlt sich ab. Es bildet sich bei Erreichen der lokalen Schallgeschwindigkeit eine Schockwelle aus. Diese wird von einer zweiten Schockwelle, die durch die Expansion des aus den verdampften Bombentrümmern bestehenden Gases gebildet wurde, eingeholt. Die beiden Schockwellen verschmelzen zu einer gemeinsamen Schockfront, die die Luft komprimiert und entzündet.

Der Feuerball besteht nun aus zwei konzentrischen Kugeln, nämlich der sich innen befindlichen isothermen Kugel und der äußeren schockerhitzten Luft. Die brennende Schockfront kühlt sich ab und wird allmählich durchsichtig. Schließlich wird ein Helligkeitsminimum erreicht, das einer Oberflächentemperatur von ca. 3000°C entspricht. Auf Grund der zunehmenden Transparenz der äußeren Kugelschale wird nun die isotherme Kugel immer stärker sichtbar und daher für Oberflächentemperatur und Helligkeit des Feuerballs maßgebend.

Durch Expansion und Vermischung mit der Luft wird schließlich auch dieser zweite Puls beendet.

Der Feuerball erfährt nicht nur eine Expansion, sondern auch einen Auftrieb, so daß er in vertikaler Richtung wie ein Projektil emporschnellt. Der Aufstieg erfolgt solange, bis der Feuerball die Dichte der Luft erreicht hat. Bei großen Kalibern kann der Feuerball jedoch bis zur Basis der Stratosphäre aufsteigen. Durch die Abkühlung der im Feuerball enthaltenen Gase kommt es zu Kondensation und Wolkenbildung. Der Aufstieg führt zu starken Sogwirkungen, wodurch Staub und u.U. sogar Gesteinsbrocken mitgerissen werden können. Es kommt zur Ausbildung einer Staubsäule, die zusammen mit der Wolke, die für Kernwaffendetonationen charakteristische Pilzform ergibt. Neben Atompilz und thermischer Strahlung entsteht auch noch eine Druckwelle, die durch den Durchgang der Schockfront erzeugt wird. Ein dem Detonationspunkt nicht zu naher Beobachter registriert den Durchgang der Schockwelle zunächst durch einen starken Druckanstieg, dem dann eine Unterdruckphase folgt. Dieses Phänomen ist in Abbildung 1 qualitativ dargestellt.

DIE IONISIERENDE STRAHLUNG

Aus dem vorhergehenden Abschnitt geht hervor, daß die bei einer Kernwaffendetonation freiwerdende Strahlung eine prompte und eine verzögerte Komponente besitzt. Die prompte Strahlung wird während des Spaltvorganges und die verzögerte Strahlung nach der Spaltung emittiert. Obwohl diese Gliederung physikalisch begründet ist, hat es sich in der Praxis als vorteilhaft erwiesen, die prompte und die innerhalb der ersten Minute nach der Detonation erzeugte Strahlung unter dem Begriff INITIALSTRAHLUNG zusammenzufassen. Die nach dieser Minute freigesetzte Strahlung wird dann als REST- oder RESIDUALSTRAHLUNG bezeichnet.

Auf diese Begriffsbestimmung folgt nun eine kurze Diskussion der einzelnen Strahlenarten.

Zunächst zu den GAMMASTRAHLEN. Die PROMPTEN Gammastrahlen wurden bereits mehrfach erwähnt. Ein Teil von ihnen wird in der Bombenmaterie absorbiert, während der Rest zur Strahlenbelastung in weitem Umkreis um den Detonationspunkt beiträgt. Wesentlich bedeutsamer für die Strahlenbelastung sind jedoch die verzögerten Gammas. Hier sind vor allem die EINFANGGAMMAS zu nennen, die durch Neutroneneinfang im Bombenmaterial und anderen Stoffen entstehen. Beim Einfang bilden sich hochangeregte Zwischenkerne, die ihre Anregungsenergie fast augenblicklich abstrahlen. Als wichtigstes Beispiel sei die Reaktion $N^{14} (n, \gamma) N^{15}$ genannt. Eine weitere neutroneninduzierte Reaktion, die zur Gammaemission führt, ist die INELASTISCHE STREUUNG von Neutronen an Luftmolekülen und am Bombenmaterial.

Wenn Atomkerne durch Neutroneneinfang radioaktiv werden, so spricht man von AKTIVIERUNG. Unter der großen Anzahl von Aktivierungsreaktionen ist die Aktivierung von Stickstoffisotopen von besonderer Bedeutung.

Bei der Kernspaltung werden auch zahlreiche ISOMERE gebildet, die durch Photonenaussendung in den Grundzustand übergehen.

Eine besonders wichtige Quelle von Gammastrahlen sind die SPALTPRODUKTE. Ihre Halbwertszeiten betragen von Bruchteilen von Sekunden bis zu vielen Jahren. Die Residualstrahlung wird zu wesentlichen Teilen durch Spaltproduktgammas hervorgerufen.

In Abbildung 2 wird die Gammaleistung in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt, wobei die während der einzelnen Zeitabschnitte dominierenden Reaktionstypen angegeben sind.

Der Vollständigkeit halber sei noch der Begriff der HYDRODYNAMISCHEN VERSTÄRKUNG erwähnt. Darunter versteht man die Tatsache, daß die Gammadosis überproportional zum Bombenkaliber anwächst. Dieser Effekt kann durch die Wirkung der Druckwelle erklärt werden. Die Abbildung 3 zeigt die Abhängigkeit der Dosis vom Kaliber (Kilotonnen) und der Entfernung (yards). Diese Kurven beziehen sich auf einen 50% Spaltungs-/50% Fusionssprengkörper.

Die Abschirmung gegen Gammastrahlen beruht auf drei physikalischen Effekten, nämlich auf dem Comptoneffekt, dem Photoeffekt und dem Paarbildungseffekt. Die Wechselwirkungswahrscheinlichkeit steigt bei allen drei Effekten mit der Dichte und der Massenzahl.

In der Praxis wird ein Abschirmungsmaterial durch seine ZEHNTELWERTSDICKE charakterisiert. Für Gammastrahlung aus Kernwaffen ergeben sich als effektive Zehntelwertsdicke 10.5 cm für Stahl, 40.3 cm für Beton, 60 cm für Erde, 98 cm für Wasser und 160 cm für Holz.

Sehr wichtig ist auch der SKY-SHINE-EFFEKT, der durch Streuung von Photonen an Luftmolekülen zustandekommt. Siehe Abbildung 4. Durch diesen Effekt kann es trotz Abschirmung in Richtung des Detonationspunktes zu erheblichen Strahlenbelastungen kommen.

Eine weitere wichtige Komponente zur Dosisbelastung ist die NEUTRONENSTRAHLUNG. Sie besteht aus den prompten Spaltneutronen und gegebenenfalls den Fusionsneutronen. Die verzögerten Spaltneutronen spielen eine nur untergeordnete Rolle. In Abbildung 5 ist die Neutronendosis in Abhängigkeit von der Entfernung und dem Kaliber für einen 50% Spaltungs-/50% Fusions Sprengkörper analog zur Gammastrahlung dargestellt.

Die Abschirmung gegen Neutronen ist wesentlich schwieriger als gegen Gammastrahlen und kann nur durch das Zusammenwirken mehrerer Materialien erreicht werden. Die durch die Detonation emittierten schnellen Neutronen (einige MeV) müssen zunächst durch inelastische Stöße auf mittlere Energien (einige hundert keV) gebremst werden. Dazu kann etwa Eisen verwendet werden. Die mittelschnellen Neutronen werden dann mit Hilfe wasserstoffhaltiger Substanzen thermalisiert und schließlich von geeigneten Absorbern eingefangen. Gegen die Einfang-Gammastrahlung müssen ebenfalls geeignete Abschirmmaßnahmen getroffen werden.

In der Praxis haben sich Spezialbetone, die eisenbewehrt und mit Zuschlagstoffen versehen sind, bewährt. Auf Grund der komplexen Verhältnisse bei der Neutronenabschirmung sind Begriffe, wie Zehntalwertsdicke, nicht sinnvoll. Eine gegebene Abschirmungsgeometrie, etwa ein Schutzraum, wird vielmehr durch den Transmissionsfaktor charakterisiert. Dies ist das Verhältnis der Strahlendosen, die sich mit und ohne Berücksichtigung dieser Abschirmung ergeben. Für einen schwachbewehrten freistehenden Betonbunker mit einer

Wanddicke von 23 cm ergibt sich ein Transmissionsfaktor von ca. 40%. Verstärkt man die Wanddicke auf 38 cm, so kann der Transmissionsfaktor auf 30% reduziert werden. Entscheidende Verbesserungen können allerdings nur durch eine bessere Eisenbewehrung und entsprechende Zuschlagstoffe erreicht werden.

Nun noch einige Bemerkungen zur Reststrahlung. Zur Residualstrahlung tragen Alpha-, Beta- und Gammastrahlen bei, deren Quellen vorwiegend in den Spaltprodukten liegen. Hinzu kommen noch die neutroneninduzierte Radioaktivität der Bombenreste sowie weitere Aktivierungsprodukte aus der näheren Umgebung des Detonationspunktes. Die letztgenannte Komponente erlangt insbesondere bei bodennahen Detonationen Bedeutung, da die Erde einer intensiven Neutronenbestrahlung ausgesetzt ist.

Eine Reihe von Spaltprodukten sind beta-aktiv, wie etwa das Strontium 90 und das Cesium 137. Die Betastrahlen tragen kaum zur Ganzkörperstrahlung bei, sind jedoch bei Inkorporation sehr gefährlich. Die analoge Aussage gilt auch für die Alphateilchen, deren Quellen das unverbrauchte Spaltmaterial ist, das durch die Detonation verstreut wird. Die radioaktiven Teilchen machen einen komplizierten Transportprozeß durch. Die Spaltprodukte liegen unmittelbar nach der Detonation ebenso wie das übrige Bombenmaterial in dampfförmigem Zustand vor. Wie bereits erwähnt, bildet sich ein Feuerball aus, der aufsteigt und kondensiert. Beim Aufstieg wird auch noch Staub und andere Materie vom Boden mitgerissen. Diese Partikeln dienen auch als Kondensationskerne, insbesondere wenn sie radioaktiv sind. Die schwersten Teilchen fallen bereits nach wenigen Stunden aus und bilden den LOKALEN Fallout. Die verbleibenden Teilchen steigen in die Troposphäre auf und werden durch die dort

herrschenden Luftströmungen sehr rasch über die ganze Erde verfrachtet. Es kommt innerhalb 10 bis 30 Tagen zu einer Sedimentation.

Die Tropopause stellt gegenüber dem aufsteigenden Feuerball einen Sperriegel dar, der nur bei sehr starken Detonationen durchbrochen wird. In diesem Fall gelangen die radioaktiven Teilchen in die Atmosphäre. Die Partikeln haben hier jahrelange Verweilzeiten, da ja keine Auswaschung durch Regen stattfinden kann. Die Ausfallrate der radioaktiven Teilchen kann manchmal erst Jahre nach der Detonation ihren Höhepunkt erreichen.

Die Transportmechanismen, die das Verhalten solcher Teilchen beherrschen, sind noch weitgehend unerforscht.

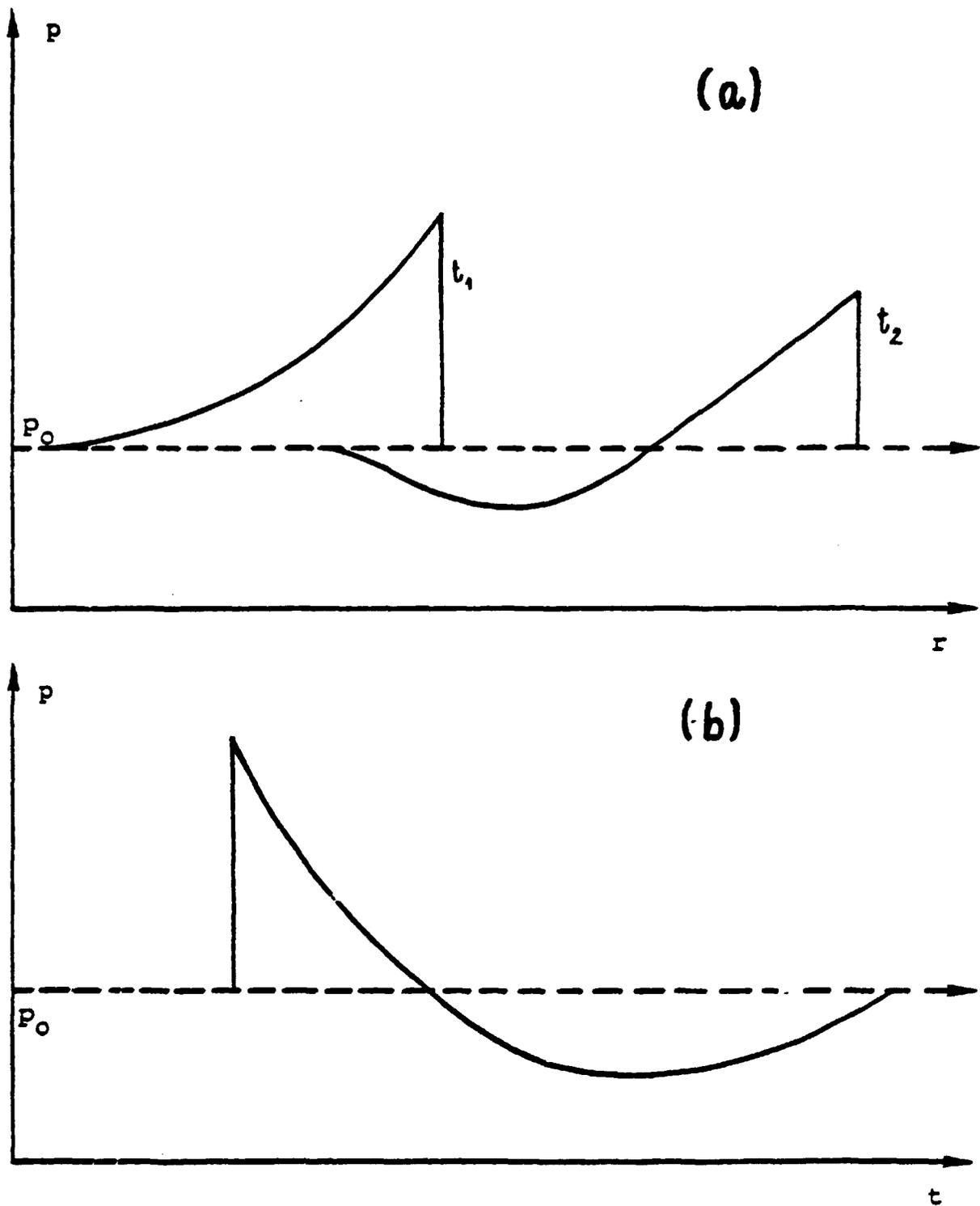


Abbildung 1

- (a) Druck p in Abhängigkeit von der Entfernung r vom Detonationspunkt zu zwei Zeitpunkten t_1 und t_2 ; $t_2 > t_1$
- (b) Typischer Druckverlauf an einem festgehaltenen Punkt

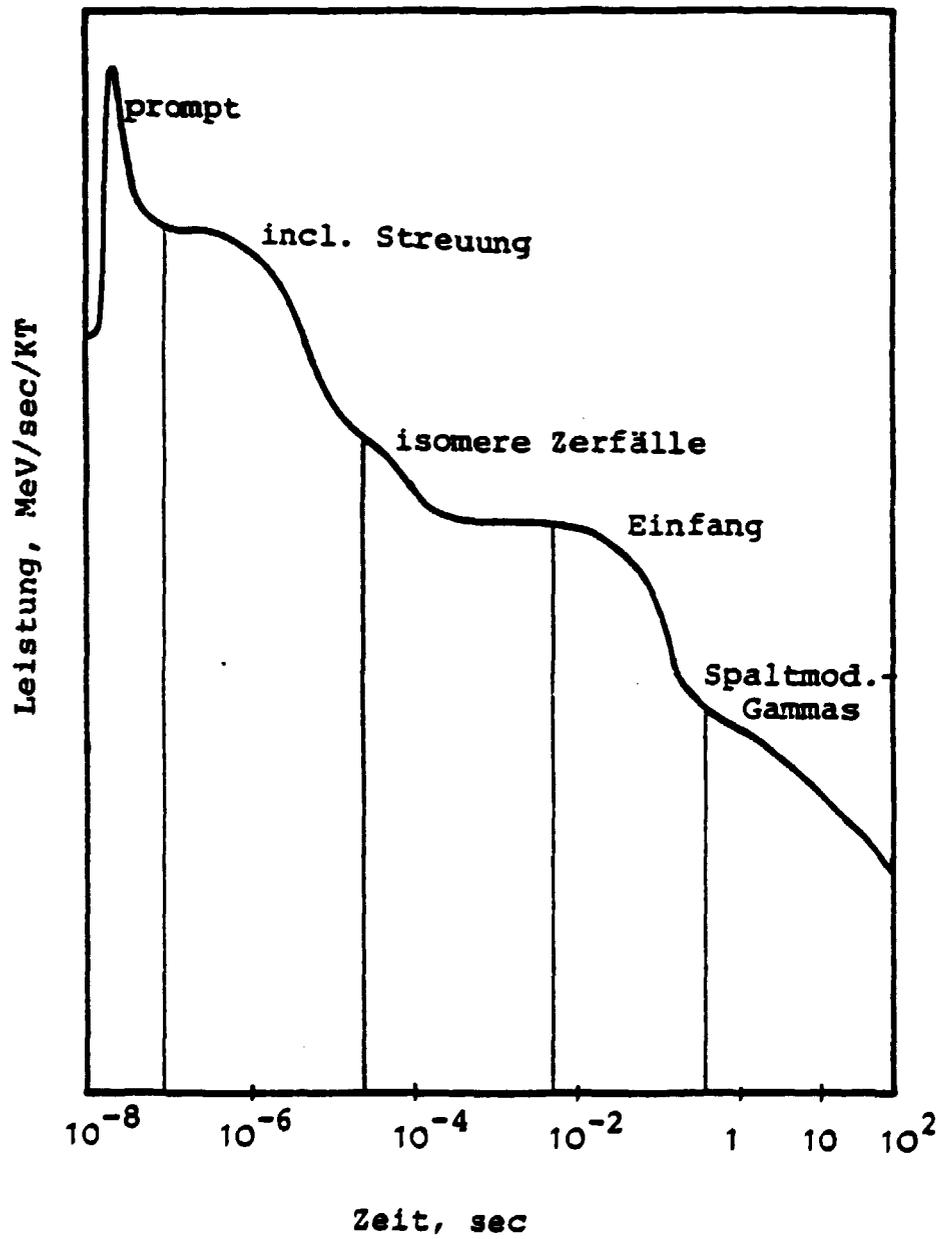


Abbildung 2

Gammaleistung eines Fissionssprengkörpers in Abhängigkeit von der Zeit. Die Leistung bezieht sich auf 1 KT.

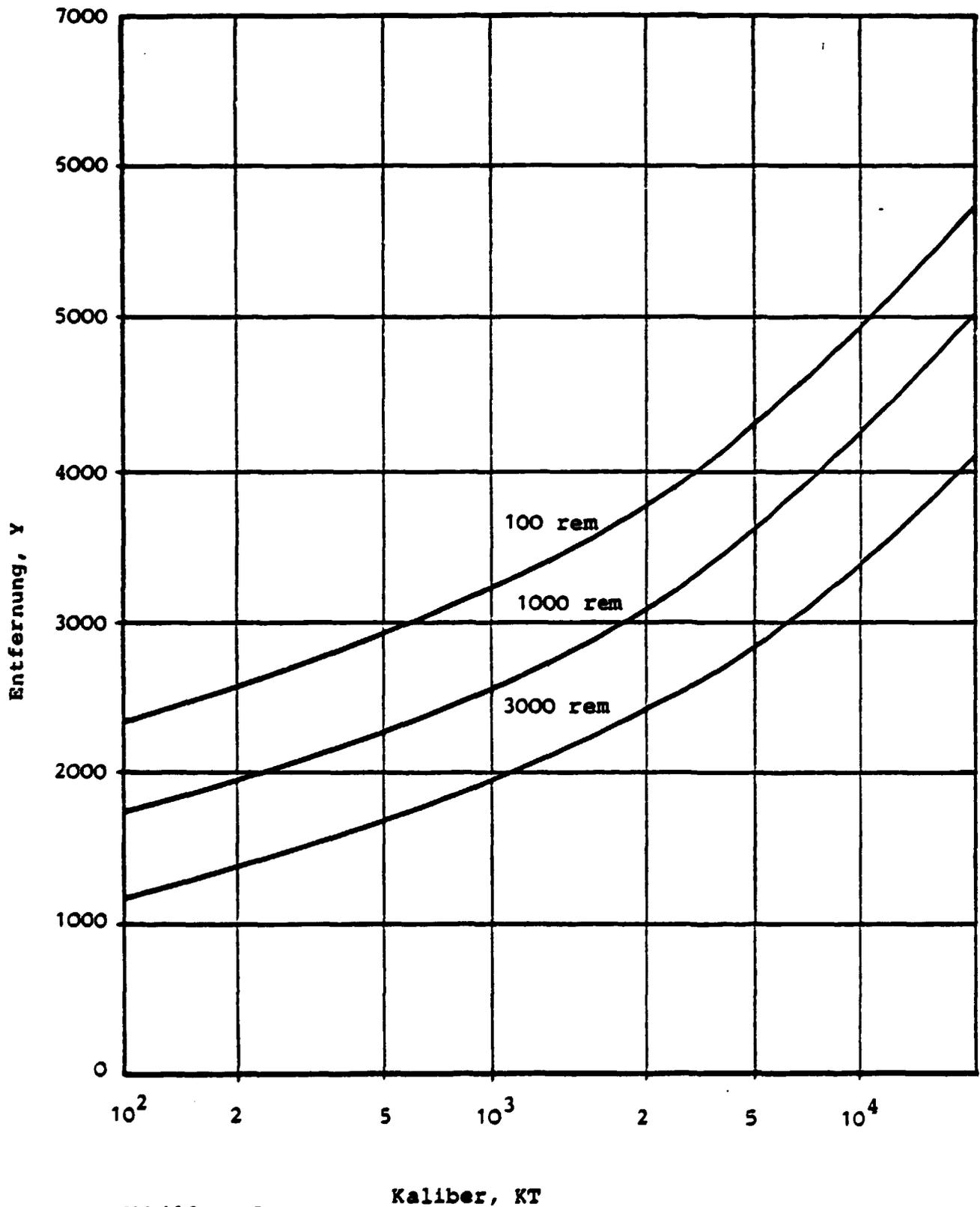


Abbildung 3

Gammadosis für einen 50% Spaltungs-/50% Fusionsprengkörper
(aus Glasstone-Dolan, The Effects of Nuclear Weapons)

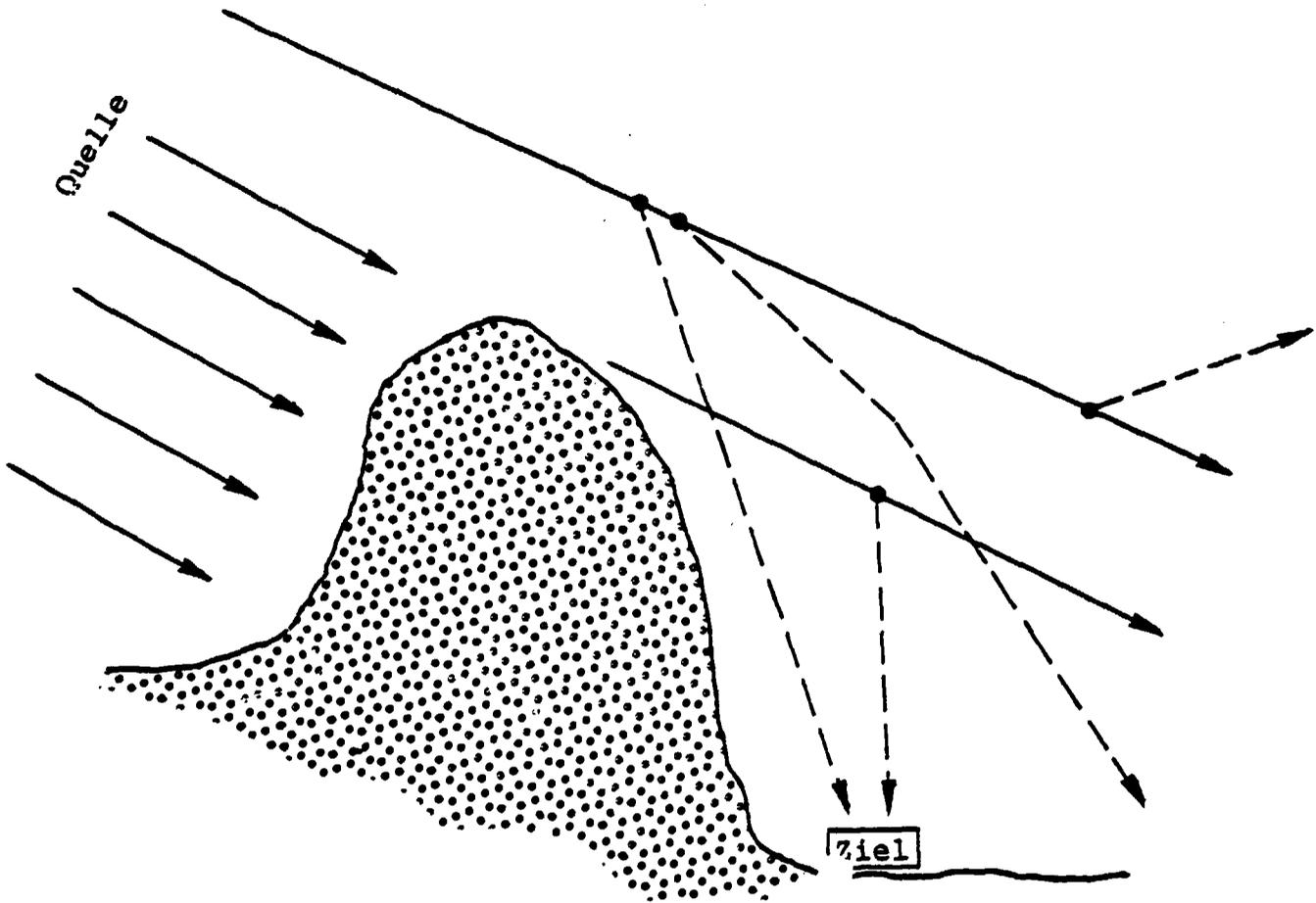


Abbildung 4

The Sky-Shine-Effect

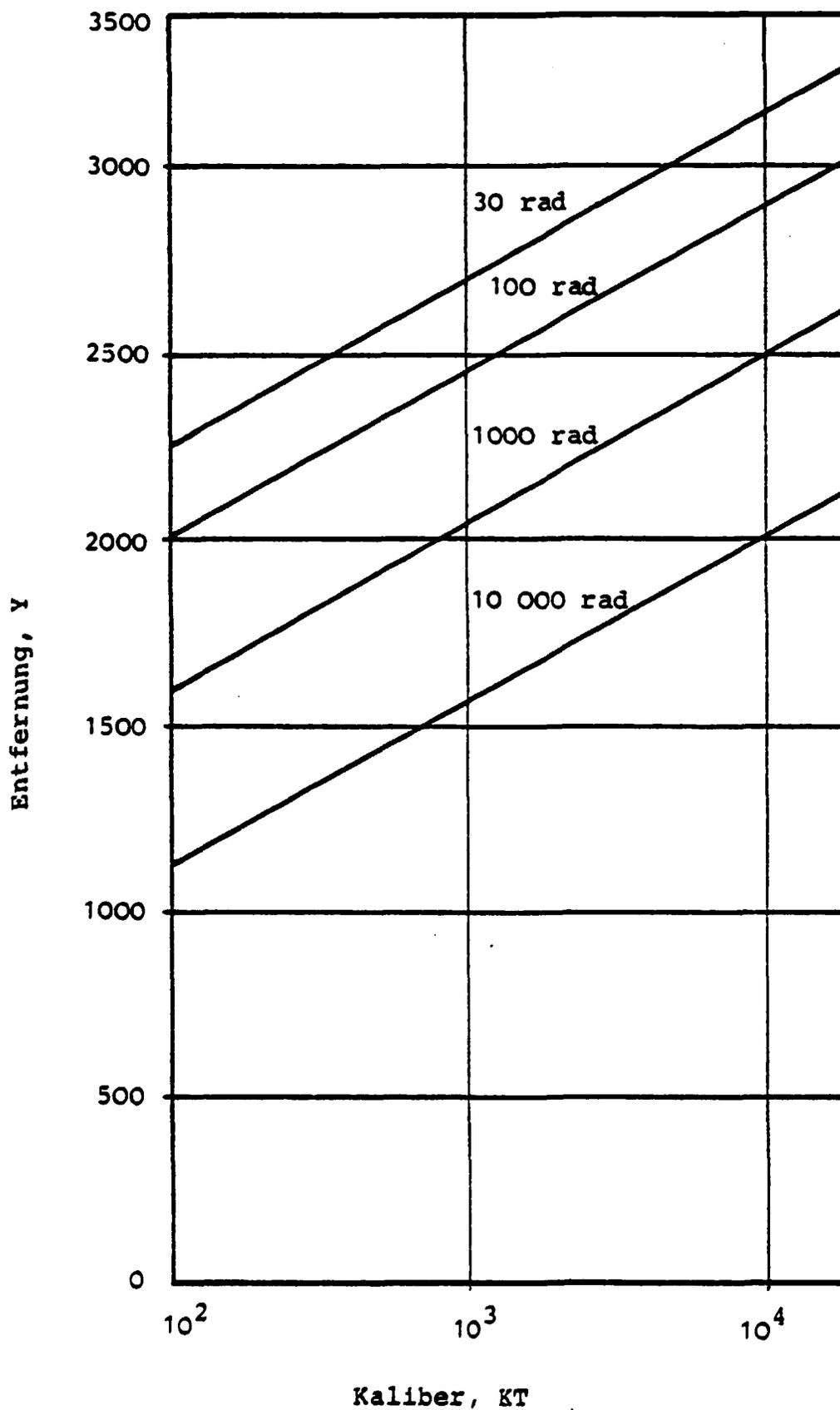


Abbildung 5

Neutronendosis für einen 50% Spaltungs-/50% Fusions Sprengkörper
(aus Glasstone-Dolan, The Effects of Nuclear Weapons)

LANGZEITWIRKUNGEN DER BISHER DURCHGEFÜHRTEN
KERNBOMBENTESTS

M. Tschurlovits
Atominstitut der Österreichischen Universitäten Wien

Kurzfassung

Auf der Basis der seit 1945 durchgeführten Kernbombenversuche wird eine Übersicht über die Spätwirkungen gezeigt. Die Diskussion beinhaltet die freigesetzten Radionuklide und die dadurch resultierende Dosis, wobei jährliche Dosis und collective dose commitment gezeigt werden.

Abstract

Long term effects of hitherto carried out nuclear tests

Based upon nuclear test explosions conducted in the atmosphere since 1945, a review on long term consequences is shown. The discussion comprises the total released radionuclides and the resulting dose where both the annual dose and the collective dose commitment are shown.

1. Einleitung

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit einem Anteil an der gesamten Wirkung des Einsatzes einer Kernbombe, der auch vom Anwender nicht erwünscht ist. Es sind dabei folgende Gründe ausschlaggebend:

- die Dosis steht nicht im Zusammenhang mit dem Zweck des Einsatzes einer Kernwaffe
- es wird, verglichen mit der Dosis unmittelbar nach dem Einsatz eine kleine Dosis entstehen, die aber sehr viele Personen betrifft
- der Anwender der Kernwaffe ist von den Wirkungen nicht ausgenommen.

Dieser Beitrag beschäftigt sich daher mit der Wirkung von Radionukliden, die durch Spaltung (Aktivierung, Fusion) entstehen und, abgesehen von Tochterprodukten, längere Halbwertszeiten haben.

Eine Abgrenzung zwischen hier behandelten und den in den früheren Beiträgen diskutierten Wirkungen kann unter verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Hier soll sie durch die Wirkung, also durch die Dosis, erfolgen.

Es wird daher der Bereich der Wirkung von Kernbombenexplosionen diskutiert, der eine "committed dose" von einigen 10 mSv (einigen rem) verursacht, wobei das Konzept der effektiven Ganzkörperdosis /1/ herangezogen wird. Durch diese Festlegung liegt man sicher im Anwendungsbereich von stochastischen Schäden. Diese Art von Schäden ist im Gegensatz zu den nichtstochastischen Schäden durch einen Risikofaktor zu beschreiben /siehe auch /2//.

Des weiteren wird auf der Basis der bisher durchgeführten Kernbombentests eine Abschätzung der oben definierten Wirkungen durchgeführt. Diese Abschätzungen gelten daher nur für die bisher freigesetzte Energie und können naturgemäß keinerlei Voraussagen über Wirkungen zukünftiger Einsätze enthalten.

Der vorliegende Beitrag hat sich daher mit folgenden Themen zu beschäftigen:

- Quellterm
- Expositionspfade
- Dosis.

2. Produktion von Radionukliden durch bisherige Kernwaffenexplosionen

2.1 Freigesetzte Energie

Nach /3/ haben in den Jahren 1945 bis 1980 423 Tests stattgefunden, und zwar 123 von den USA, 142 von der UdSSR, 21 vom U.K., 45 von Frankreich und 22 von China. Die freigesetzte Energie war insgesamt 550 Mt TNT *) (\sim 140/USA, 360/UdSSR, 17/UK, 12/F, 21/China) - jeweils gerundete Werte.

Von der gesamten freigesetzten Energie wurden etwa 40% durch Spaltbomben erzeugt.

*) 1 kT TNT $\hat{=}$ 10^{12} cal $\hat{=}$ 1,2 GWh $\hat{=}$ $2,6 \cdot 10^{25}$ MeV

2.2 Produzierte Radionuklide

Tabelle 1 gibt die gesamte Produktion der wichtigsten Radionuklide an.

Tabelle 1: Freigesetzte Radionuklide

Radionuklid	HWZ	Input ^{8) 9)}
1) H-3	12,35 y	$2,4 \cdot 10^{20}$ Bq ($6,5 \cdot 10^9$ Ci)
2) C-14	5736 y	$2,2 \cdot 10^{17}$ Bq
3) Mn-54	312,5 d	$5,2 \cdot 10^{18}$ Bq
Kr-85	10,76 y	$1,1 \cdot 10^{17}$ Bq ($3 \cdot 10^6$ Ci)
4) Sr-89	50,5 d	$1,0 \cdot 10^{20}$ Bq
5) Sr-90	28,5 y	$6,0 \cdot 10^{17}$ Bq
Zr-95/Nb 95	64 d/35 d	$\sim 10^{20}$ Bq
I-131	8,05 d	$7,0 \cdot 10^{20}$ Bq
6) Cs-137	30,1 y	$9,6 \cdot 10^{17}$ Bq
7) Pu-241	14,3 y	$1,8 \cdot 10^{17}$ Bq

- 1) durch Fusion
- 2) N14 (n,p)C14
- 3) nur 1961 Test, Mn54/Sr90 ~ 100
- 4) Sr89/Sr90 ~ 200
- 5) Cs137/Sr90 $\sim 1,6$
- 6)
- 7) \rightarrow Am241 (433 y)
- 8) nördl. Hemisphäre $\sim 90\%$; die freigesetzten Aktivitäten beziehen sich nur auf Kernwaffentests. Das vorhandene Inventar kann bei manchen Radionukliden aber auch aus anderen (natürlichen oder künstlichen) Quellen stammen.
- 9) Zum leichteren Vergleich werden die höchsten und die niedrigsten Werte auch in Ci angegeben

3. Expositionspfade

Eine Dosis kann bekanntlich einerseits durch innere und andererseits durch äußere Exposition entstehen. Als Beispiel soll hier die Konzentration von Sr-90 und Cs-137 in Nahrungsmitteln für die nördliche und südliche Hemisphäre gezeigt werden /3/. Der Unterschied liegt vor allem in der unterschiedlichen Produktion von Radionukliden in den beiden Hemisphären (Abb.1).

Ein anderes Beispiel zeigt den atmosphärischen Transport von Radionukliden (Abb.2 /3/) in verschiedenen Höhen.

4. Dosis

Die entstehende Dosis kann nach folgenden Kriterien aufgeschlüsselt werden:

- a) Belastungspfad
 - Ingestion
 - Inhalation
 - Äußere Dosis

- b) räumliche Verteilung
 - lokal
 - global

- c) zeitliche Verteilung
 - jährliche Dosis
 - collective dose commitment

Es werden einige Beispiele zu den jeweiligen Punkten gebracht.

4.1 Äußere Strahlenbelastung

In der Umgebung der "Nevada Test Site" wurden Messungen der äußeren Dosis vorgenommen /4/. In diesem Versuchsgelände wurden in den Jahren 1951 bis 1962 Kernbombenexplosionen entsprechend insgesamt 560 Kt TNT vorgenommen. Die äußere Dosis in Entfernungen von einigen Meilen bis zu einigen zehn Meilen war äußerst unterschiedlich. Einerseits traten als kumulierte Dosis (1951 - 1970) 0,19 R unmittelbar am Geländerand, andererseits aber auch etwa 17 R etwa 60 Meilen vom Testgelände auf. Diese Angaben zeigen deutlich den Einfluß von orographischen und meteorologischen Verhältnissen auf die Dosis.

4.2 Jährliche Dosis

Abb. 3 zeigt als weiteres Beispiel die jährliche Dosis durch Kernwaffeneinsätze in U.K. /5/, die besonders in den frühen Sechzigerjahren der bei weitem größte Beitrag zur Dosis für die Bevölkerung darstellte. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die natürliche und medizinische Strahlenbelastung nicht angegeben sind, die um vieles größer sind.

4.3 Collective dose commitment

Tabelle 2 zeigt die Bedeutung der einzelnen Radionuklide für das "collective dose commitment" /3/. Dabei tritt vor allem die große Bedeutung von C-14, das vom Standpunkt der jährlichen Dosis völlig bedeutungslos ist, hervor. Dies ist durch die lange Halbwertszeit von 5730 y bedingt.

Radionuclide	Effective dose equivalent commitment (10^{-5} Sv)	Contribution to total (%)
^{14}C	170	59.4
^{137}Cs	55	19.2
^{95}Zr	19	6.6
^{90}Sr	10	3.5
^{106}Ru	10	3.5
^{144}Ce	4.6	1.6
^3H	4.6	1.6
^{131}I	3.0	1.0
^{140}Ba	2.2	0.8
^{239}Pu	1.9	0.7
^{103}Ru	1.8	0.6
^{240}Pu	1.3	0.5
^{241}Pu	0.9	0.3
^{55}Fe	0.9	0.3
^{241}Am	0.4	0.1
^{141}Ce	0.2	0.07
^{89}Sr	0.1	0.03
^{238}Pu	0.1	0.03
^{136}Cs	0.006	0.002
^{54}Mn	0.004	0.001
^{85}Kr	0.0004	0.0001
TOTAL	286	100

Tabelle 2: Beitrag der verschiedenen Radionuklide zum gesamten
dose equivalent commitment /3/

5. Zusammenfassung

Mit diesem Beitrag sollten die langfristigen Konsequenzen von atmosphärischen Kernbombenexplosionen gezeigt werden, wobei die bisherigen Explosionen von etwa 550 Mt TNT herangezogen werden.

Die daraus resultierende mittlere Dosis über alle Belastungspfade und Radionuklide entspricht etwa dem Ausmaß von ca. 2,5 Jahren natürlichen Backgrounds.

Auf der anderen Seite ist nahezu alles Wissen über das Verhalten von künstlichen radioaktiven Stoffen in der Umwelt aus Untersuchungen über die auf diesem Wege freigesetzten Radionuklide möglich geworden.

6. Literatur

- /1/ International Commission on Radiological Protection (ICRP), Publication 26 (1977)
- /2/ M. Tschurlovits, Tagungsbericht ÖVS, Jahrestagung 1977
- /3/ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), Bericht 1982
- /4/ B. Shleien, Health Physics 41 (1981) 243
- /5/ F.E. Taylor, G.A.M. Webb, Radiation Exposure of the UK Population, NRPB-R-77 (1978).

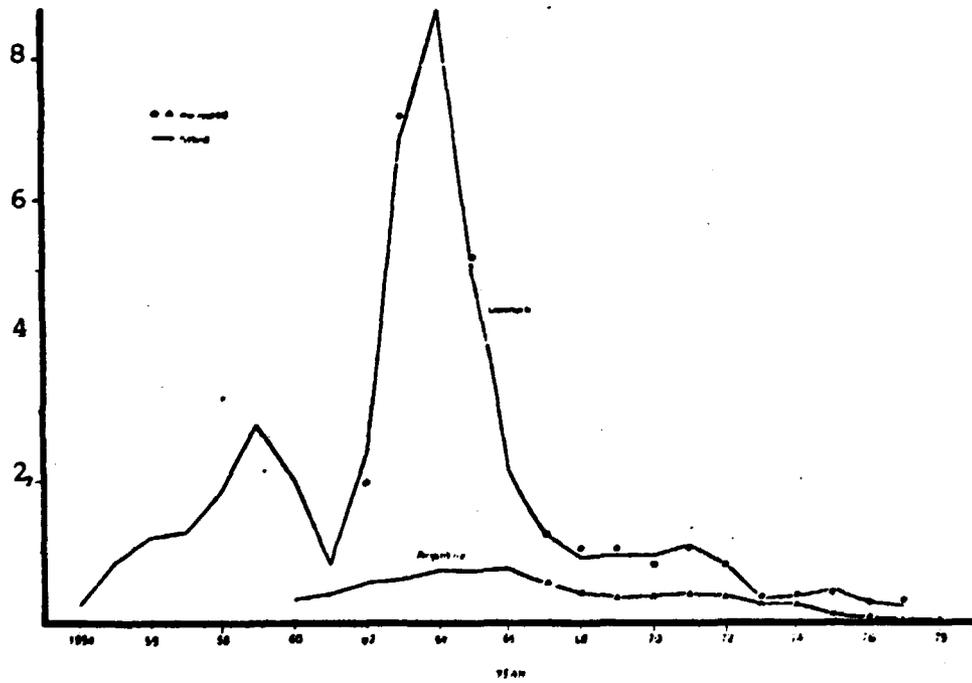
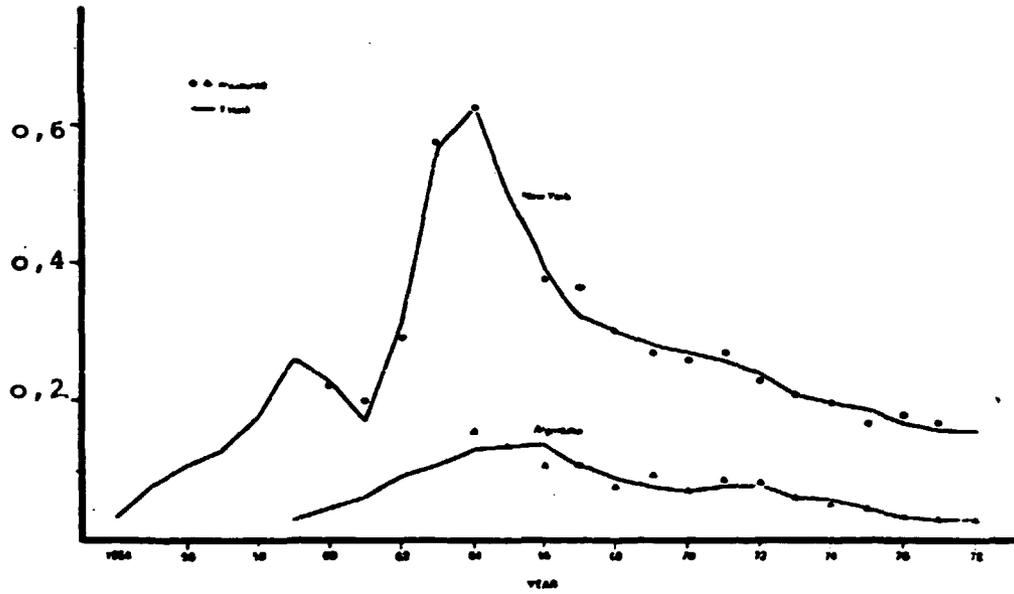


Abb.1: Konzentration (Bq.kg⁻¹) in Lebensmitteln (1954 bis 1978)

oberes Bild: Sr 90, unteres Bild: Cs 137

/3/

Die jeweils obere Kurve gilt für die nördliche Hemisphäre, die untere Kurve für die südliche Hemisphäre

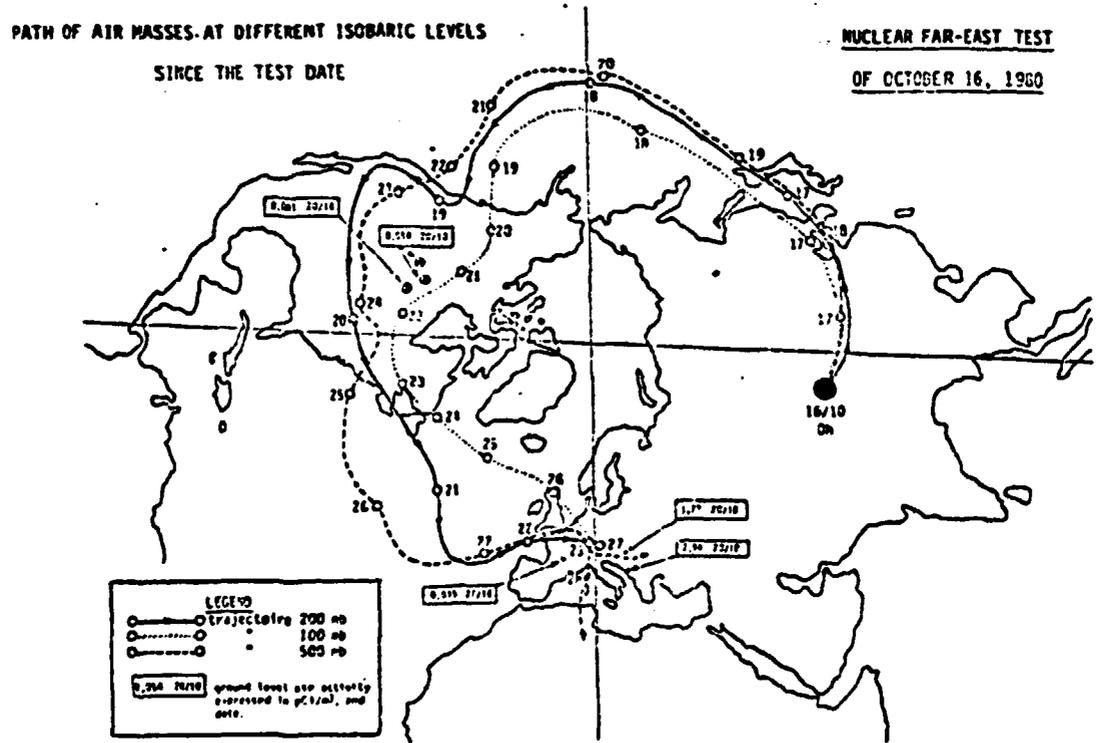


Abb. 2: Transport von Luftmassen in verschiedenen Höhen bei einem Kernbombentest in Mittelasien /3/

BIOLOGISCHE WIRKUNGEN

H. Frischauf
I. Med. Univ.-Klinik Wien

Die biologischen Wirkungen der einzelnen Energieformen, die durch Kernwaffen freigesetzt werden, können unmittelbar, als Strahlenwirkung auch verzögert oder als Langzeitwirkung auftreten.

Unmittelbare Wirkungen

Druckwirkung

Ihre Folgen sind vorwiegend indirekte.

Es kommt zu Verletzungen verschiedenen Grades und Tod durch Einsturz von Gebäuden, herumfliegende Trümmer, vor allem auch durch Glassplitter, die sehr tief unter die Haut dringen können. Weitere Gefahren sind Verletzungen durch Winddruck, der Menschen gegen feste Gegenstände schleudert. Bäume können entwurzelt, Menschen aus Gebäuden herausgeblasen werden.

Auswirkungen von Hitze und Licht

Sie sind Brandverletzungen verschiedenen Grades und Blendung der Augen. Eine folgenschwere indirekte Wirkung der Hitze ist die Entstehung von Bränden, die sich bis zu Feuerstürmen entwickeln können.

Die Kombination dieser Wirkungen - Verletzungen und Verbrennungen als direkte Folge, Verschüttung, Versperrung von Wegen und Ausbreitung von Flächenbränden als indirekte - vervielfachen die Zahl der Todesopfer, die zunächst nur Verletzte sind.

Die unmittelbare Strahlenwirkung ist die Initialstrahlung. Bei Spaltbomben ist die Gefährdung durch Druck- und Hitzewirkung weitreichender als die Initialstrahlung, sodaß in ihrem Bereich die Zahl von Todesfällen nicht weiter erhöht wird.

Der Fallout bildet hier die praktisch wichtigere Komponente der Strahlenwirkung.

Quantitative Abschätzung der Auswirkungen

Der tödliche Grenzwert für die Druckwirkung wird mit etwa 0,035 MPa (0,35 Atmosphären) angenommen. In einem Areal, das unter einem solchen Überdruck steht, überleben etwa genauso viele Personen als bei dem geringeren Überdruck außerhalb dieses Gebietes zugrunde gehen. Die direkte Wirkung des Überdruckes auf der Menschen ist weniger dramatisch. Erst bei etwa 1 - 2 Atmosphären Überdruck reißen die Trommelfelle ein, wobei natürlich der zeitliche Verlauf der Druckwelle eine Rolle spielt.

Bei noch höheren Überdrucken kommt es zu Blutungen durch Zerreißung von Gefäßen und schließlich auch durch Einpressen von Luft aus den Lungen in die Blutgefäße zur Luftembolie, die eine Weiterbeförderung des Blutes in den Gefäßen unmöglich macht und dadurch zu einem raschen Tod führt.

Der Wert von 0,035 MPa wird bei Explosion einer 1 MT-Bombe in einem Umkreis von etwa 5 km vom Nullpunkt erreicht, bei einer 1 KT-Bombe in etwa 0,7 km.

Die Hitzewirkung wie auch die Verteilung des Fallouts hängen sehr stark von meteorologischen Einflüssen ab. Die thermische Wirkung hat unter den Energieformen die größte Fernwirkung. Bei klarem Wetter treten Verbrennungen der Körperoberfläche 2. Grades, die mit der Ausbildung von Brandblasen und später offenen Wunden einhergehen, bei Explosion einer 1 MT-Bombe in einer Entfernung bis zu 20 km (für 1 KT Bomben 0,8 km) auf, Verbrennungen 3. Grades, die zum Absterben der betroffenen Hautpartien und der

darunterliegenden Gewebe führen, in einem Umkreis von ca. 15 km (600 m). Die Blendung der Augen durch den Feuerball reicht bei einer 1 MT-Bombe bei Tag etwa 20 km weit, bei Nacht bis zu 85 km.

Eine biologische Auswirkung des elektromagnetischen Pulses wurde bisher nicht bekannt.

Die radioaktive Initialstrahlung nimmt, wie schon erwähnt wurde, mit der Entfernung vom Nullpunkt sehr schnell ab. Durch die Anfangsstrahlung entsteht eine akute Strahlenbelastung, wie sie von einer kleinen Anzahl von Unfällen, die sehr gründlich untersucht werden konnten, bekannt ist. Man weiß, daß bei einer Ganzkörperbelastung, die mehr als 100 rem beträgt, leichte Erscheinungen einer akuten Strahlenkrankheit regelmäßig, in manchen Fällen schon bei mehr als etwa 50 rem auftreten. Ist die Strahlenbelastung größer als 200 rem Ganzkörperbestrahlung, dann ist eine Erholung zunächst wahrscheinlich, bei Dosen bis zu 500 rem möglich. Allerdings ist eine intensive medizinische Betreuung, vor allem bei den höheren Dosen während der manifesten Strahlen-erkrankung erforderlich. Sie macht große Mengen von Medikamenten und den Ersatz von Blutelementen notwendig, was im Falle einer großen Anzahl von Geschädigten nicht möglich sein wird. Bei einer Ganzkörperdosis über 600 rem ist eine Erholung schon unwahrscheinlich, bei Dosen über 1000 rem wurde nur in Ausnahmefällen ein Überleben beobachtet. Nach einer Dosis von 360 rem sterben nach 30 Tagen 50% der Strahlengeschädigten (mittlere tödliche Dosis, LD 50/30). Nach 60 Tagen beträgt die LD 50/60 ohne Behandlung 300 rem, d.h. die Zahl der Todesopfer steigt noch an.

Ursache des Strahlenschadens

Die Strahlenschädigung entsteht durch Ionisierung, d.h. durch Ablösung von Elektronen aus Atomen und Molekülen infolge einer Energiezufuhr, deren Menge, verglichen mit der Wirkung einer Energiezufuhr in Form von Wärme sehr gering ist. Eine Energiemenge, die als Wärme zu einer Er-

höhung der Körpertemperatur um 1/1000 Grad führen würde, kann in Form von Strahlungsenergie schon tödlich sein. Durch die Ionen treten ungewöhnliche chemische Reaktionen auf, die als direkte Wirkung eine Zerstörung von Körperbausteinen wie Eiweiß und Nukleinsäure zur Folge haben. Eine noch größere Bedeutung hat aber die Bildung von ungewöhnlichen freien Radikalen durch die "Radiolyse des Wassers", des Hauptbestandteiles der Körperzellen. Die entstehenden aggressiven chemischen Substanzen bewirken eine sekundäre Schädigung der Zellelemente (indirekte Wirkung). In den Zellen entstehen durch die Strahlung Veränderungen an den Chromosomen, die durch entsprechende Techniken sichtbar gemacht werden können. Solche Chromosomenänderungen sind Brüche, Verlust oder falsches Zusammenwachsen der Teilstücke u.a. Sie führen zu Mutationen, d.s. Veränderungen von Struktur und Wirkung einzelner Erbfaktoren der Zelle.

Schäden, die in Mutationen der Körperzellen ihre Ursache haben und das Individuum, bei dem sie auftreten, selbst betreffen, sind somatische Schäden, solche, die durch das Auftreten von Mutationen in Keimzellen entstehen und vererbbar sind, genetische Schäden.

Letztere können unter den Nachkommen manchmal erst in späteren Generationen zu Krankheiten führen. Eine Mutation, die eine günstige Wirkung zeigt, ist als Folge einer Strahlenwirkung, die eine ungezielte und unspezifische Ursache von Mutationen darstellt, nicht zu erwarten.

Erscheinungen der akuten Strahlenkrankheit

Die akute Strahlenkrankheit äußert sich, je nach Höhe der Dosis, in einer nach Minuten oder Stunden einsetzenden, mehr oder weniger starken Übelkeit, Schwindelgefühl, Abgeschlagenheit und ev. Kopfschmerzen.

Bei sehr hohen Dosen setzen diese Symptome schon sehr früh ein und können zu unstillbarem Erbrechen, Schwächezuständen, Kollaps und Bewußtlosigkeit führen. Diesem Vorstadium der akuten Strahlenkrankheit folgt bei nicht zu hohen Dosen ein Latenzstadium, das einige Tage bis Wochen dauern kann. Es kommt zum Verschwinden oder Zurückgehen der Symptome, doch sind in diesem Stadium deutliche Blutbildveränderungen nachweisbar. Die Latenz ist umso kürzer, je höher die Dosis ist und tritt bei sehr hohen, absolut tödlichen Dosen überhaupt nicht mehr ein.

Bei nicht tödlichen Dosen von mehr als 200 rem kommt es meist um die 3. Woche wegen des Daniederliegens der Blutneubildung zu einer starken Verminderung der geformten Blutelemente, zunächst der weißen Blutkörperchen, dann der Blutplättchen. Die Verminderung der Abwehrkräfte des Körpers durch die fehlende Bildung der weißen Blutzellen führt zu schweren fieberhaften Infektionen, die fehlende Bildung der Blutplättchen und eine Gefäßschädigung zu ausgedehnten Blutungen. Die Zahl der langlebigen roten Blutkörperchen vermindert sich nur beim Auftreten von Blutungen, ihre Vorstufen allerdings verschwinden auch aus dem Blut. Infektion und Blutung sind die Haupttodesursachen der akuten Strahlenerkrankung bei Dosen unter 600 rem. Diese Allgemeinerkrankung ist meist noch durch lokale, physikalische oder chemische Schädigungen der Körperoberfläche kompliziert, also Wunden, Verbrennungen und lokale Strahlenschäden, die eine Entstehung von Infektion und Blutung begünstigen.

Bei höheren, meist schon tödlichen Dosen, spielt die Schädigung der Magen-Darm-Schleimhaut, die ebenfalls sehr strahlenempfindlich ist, die überragende Rolle. Es kann schon sehr früh, zu Ende der ersten oder Anfang der zweiten Woche nach anfänglichen Durchfällen zu einer Darmlähmung mit ausgedehnter Entzündung, Geschwüren und Blutungen im Darm kommen, die sehr schnell auch eine schwere Störung des Wasser- und Elektrolythaushaltes herbeiführen. Bei sehr

hohen Strahlendosen stehen Erscheinungen von seiten des Zentralnervensystems im Vordergrund, die sich in sehr rasch auftretendem Schwindel, Verwirrtheit, unkoordinierten Bewegungen und schließlich Atemnot, Krämpfen und Bewusstseinsverlust äußern. Die je nach Höhe der Dosis unterschiedlichen Wirkungen einer akuten Bestrahlung, die sogenannten "Früheffekte" der Strahlung, betreffen also vorwiegend das Blutbildungssystem, den Magen-Darm-Trakt und das Zentralnervensystem.

Dosisabhängigkeit vom zeitlichen Verlauf der Exposition und von der Strahlenart

Nach der Explosion wird die zunächst hohe, dann fortlaufend abnehmende Strahlendosisleistung zu einer akuten Strahlenkrankung Anlaß geben können, die im Vergleich zur stärkeren Initialstrahlung allerdings etwas verzögert auftreten wird, da die Dosisrate, d.h. der Zeitraum innerhalb dessen die Dosis absorbiert wird, bei gleicher Höhe der Dosis eine wesentliche Rolle für die Zeit bis zum Auftreten der ersten Symptome und auch für die Schwere der Erkrankung spielt.

Die biologischen Wirkungen der Strahlung sind bei wenig dicht ionisierenden Strahlen wie Röntgen- und Gamma-, aber auch Betastrahlen von der Dosisleistung (Dosisrate) abhängig. Eine fraktionierte Dosis, die über längere Zeit verteilt in kleinen Teildosen verabreicht wird, verursacht eine geringere Schädigung, als dieselbe Dosis als einmalige in kurzer Zeit. Sehr stark fraktionierte Dosen können bei relativ hoher Gesamtdosis für lange Zeit wirkungslos sein, wie in Tierversuchen gezeigt wurde. Bei den genannten Strahlenarten können sich die bestrahlten Gewebe durch Reparatur von nicht zu starken Schädigungen erholen.

Deshalb werden auch in der Strahlentherapie die Tumordosen fraktioniert verabreicht, da sie dem normalen Gewebe die Möglichkeit zur Reparatur geben, während das empfindlichere schnell wachsende Tumorgewebe zerstört wird. Will man allerdings eine Herabsetzung der Funktion eines Organs erreichen, dann gibt man einzeitig hohe Dosen, wie z.B. bei der Radiojodtherapie der Schilddrüse. Die Wirkung sehr dicht ionisierender Strahlen, z.B. Alphateilchen, Neutronen, Rückstoßkerne u.a. kann durch Fraktionierung wenig modifiziert werden. Ihre "relative biologische Wirksamkeit" (RBW) ist bei gleichbleibender physikalischer Dosis, also bei der gleichen Anzahl von gebildeten Ionenpaaren besonders in niedrigen Dosisbereichen bedeutend größer.

Sekundäreffekte

Der Fallout kann neben einer akuten Strahlenerkrankung auch nichtstochastische "Sekundäreffekte" der Strahlung verursachen. Sie betreffen einzelne Areale bzw. Organe, die einer relativ hohen, als Ganzkörperdosis schon tödlichen Strahlendosis innerhalb kurzer Zeit ausgesetzt sind. Ihre Ursache haben sie wahrscheinlich vor allem in Veränderungen der kleinen Gefäße, die vielfach veröden. Die Folge ist ein Gewebeschwund, für den aber auch die Strahlenwirkung auf die Zellen selbst eine Rolle spielt. Wie sich aufgrund von Beobachtungen aus Tierversuchen, aber auch aus strahlentherapeutischen Erfahrungen ergibt, ist auch für Sekundäreffekte die Zeitspanne, innerhalb welcher eine Strahlendosis absorbiert wird, für die Höhe der wirksamen Dosis von Bedeutung. Nierenveränderungen gleichen Schweregrades werden bei Fraktionierung durch 40 Tage erst durch eine 4x so hohe Dosis als durch einzeitige Bestrahlung hervorgerufen.

Als Sekundäreffekt führte radioaktives Jod des Fallout eines Atombombenversuches bei Kindern vereinzelt zur Entwicklung einer Schilddrüsenunterfunktion.

Wesentlich häufiger traten (bei Dosen um 300 rem) allerdings Schilddrüsentumoren auf, die sog. "Späteffekte" darstellen. Auch strahlenbedingte Linsentrübungen wurden bei Kindern schon nach relativ niedrigen Dosen (um 200 rem) beobachtet. Sekundäreffekte der Haut können durch lokale Bestrahlung vom Fallout, besonders durch den Kontakt mit β -Strahlern entstehen. Ein Haarausfall (Epilation) wird über 200-300 rem, eine Rötung (Hauterythem) nach einer Oberflächendosis von 400-500 rem beobachtet. Bei Dosen über 1000 rem entsteht eine Entzündung der Haut, vergleichbar mit einer Verbrennung 2.Grades, und Geschwürsbildung durch Infektion. Bei noch höheren Dosen (über 2000 rem) tritt Gewebstod auf, ähnlich einer Verbrennung 3.Grades. Zu den Sekundäreffekten gehört auch die vorübergehende Sterilisierung der Keimdrüsen. Eine bleibende Sterilisierung tritt erst nach Dosen auf, die als Ganzkörperdosis schon tödlich sind.

Späteffekte

Die sogenannten "Späteffekte" werden erst nach einer längeren Latenzzeit sichtbar. Zu ihnen gehören Tumoren, genetische bzw. vererbare Effekte sowie die Hemmung von Wachstum und Entwicklung. Letztere scheint besonders ausgeprägt am Zentralnervensystem zu sein. Beim Embryo führen schon kleine Dosen zu einer nachweisbaren Schädigung während bestimmter Phasen der Entwicklung, was in Tierversuchen in vielen Dosisbereichen untersucht wurde.

Beim Erwachsenen ist das Zentralnervensystem ein relativ strahlenresistentes Organ.

Krebsentstehung und genetische Schäden, die als stochastische Effekte auftreten, hängen außer von der Empfindlichkeit bestimmter Organe gegen Strahlen auch von einer individuell verschiedenen Strahlenempfindlichkeit ab, deren Ursachen weitgehend unbekannt sind. Ebenso sind ja auch die Gründe für die Ausprägung eines verschiedenen "biologischen Alters" bei gleichem Lebensalter nicht klar erkennbar. Eine Disposition für bestimmte Erkrankungen wird sicher durch ererbte

und Umgebungsfaktoren mitbeeinflusst. Die Strahlenwirkung dürfte also für solche stochastische Wirkungen nur einen Faktor in einer Reihe von Schadensursachen darstellen. Andere Momente werden für das Erscheinen einer Erkrankung ebenfalls von wesentlicher Bedeutung sein.

Bei chronischer Strahlenbelastung wurde eine Steigerung der DNS-Reparatur beobachtet. Man nimmt nun an, daß diese Steigerung durch eine Zunahme von Fehlern in der DNS-Reparatur die Entstehung von Tumoren durch Strahlen zum Teil erklären kann. Die Beteiligung von Viren an der Tumorgenese ist eine zweite sehr wahrscheinliche Komponente. Unklar ist bisher u.a., wovon die Dauer des erscheinungsfreien Intervalles bzw. der Übergangsperiode (Transition period) bis zur Ausbildung bzw. bis zum Wachstumsbeginn eines bösartigen Tumors abhängt. Die Latenzzeiten für verschiedene Tumoren sind verschieden. Leukämien, die am häufigsten beobachteten bösartigen Erkrankungen, haben eine durchschnittliche Latenz von 5 - 10 Jahren. Die Entwicklung bösartiger Tumoren dauert meist 20 Jahre oder länger.

Nach bisherigen Beobachtungen sind die am häufigsten zu erwartenden Tumoren Schilddrüsenkrebs bei Kindern durch radioaktives Jod und Brustkrebs bei Frauen. Prinzipiell können Tumoren an allen Organen auftreten. Wahrscheinlich sind Lungen und Knochen noch besonders gefährdete Organe, letztere durch radioaktives Strontium. Hautkarzinome entwickeln sich vor allem durch chronische Strahleneinwirkung auf die Haut.

Die genetischen Effekte können sich in einer Veränderung des Geschlechtsverhältnisses der Geburten, durch Vermehrung von Fehl- und Frühgeburten und in einer erhöhten Mißbildungsrate und Kindersterblichkeit ausdrücken. Zur Zeit kann man nur aufgrund von Tierversuchen, die aber nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragbar sind, die Auswirkung solcher Schäden als Langzeitwirkung abschätzen. Wesentlicher als genetische Effekte wird im Falle von Kernwaffenwirkung die

erhöhte Kindersterblichkeit durch Direktwirkung sein. Wegen der möglichen genetischen Schädigung sollte ein Kinderwunsch nach höherer Strahlenbelastung mindestens für einige Monate zurückgestellt werden.

Eine besondere Strahlenempfindlichkeit zeigen rasch wachsende Zellen. In bestimmten Stadien der Zellteilung sind Zellen besonders strahlenempfindlich, sodaß schnell sich teilende Zellen stärker geschädigt werden. Deshalb sind auch Tumorzellen gegen Strahlen empfindlicher als normales Gewebe. An menschlichen Embryonen führen Strahlenschäden in den ersten 3 - 4 Wochen, bevor sich das Ei in der Gebärmutter eingenistet hat, vorwiegend zum Absterben der Frucht. Überlebt der Embryo den Strahlenschaden, dann werden meist keine bleibenden Schäden beobachtet, was auch in Tierversuchen nachgewiesen ist. Wurde aber ein Stadium erreicht, in dem die Entwicklung einzelner Organe begonnen hat, dann nimmt durch die Strahlung die Zahl der Mißbildungen und Entwicklungsstörungen zu und die Zahl der Todesfälle ab. Gegen Ende der Schwangerschaft wird die Strahlenempfindlichkeit der Frucht geringer. Das Nervensystem bleibt noch weiterhin besonders anfällig gegen Strahlenschädigung, vielleicht, weil seine Entwicklung besonders lange Zeit in Anspruch nimmt.

Medizinische Versorgung von Opfern nach einem Angriff durch Kernwaffen

Neben der Versorgung von Verletzungen und Verbrennungen werden vordringlich akute Strahlenschädigungen eine Rolle spielen.

Die Zahl der Verletzten, die versorgt werden müssen, wurde abzuschätzen versucht. Sie richtet sich nach der Größe der eingesetzten Sprengwirkung. Die Schätzung derartiger Zahlen ist verständlicherweise sehr unsicher. Außerdem hängen die Auswirkungen der Angriffe von unvorhersehbaren Umgebungs- bzw. Umwelteinflüssen ab.

Bei der Behandlung schwerer Verletzungen und Strahlenschädigungen wird man sich auf erleichternde Maßnahmen beschränken müssen. Selbst dafür werden nicht immer ausreichende Mittel zur Verfügung stehen. Die Therapie der Strahlenkrankheit ist, wie schon erwähnt, in Bezug auf Zeit wie auf Medikamente und Blutersatzmittel sehr aufwendig, sodaß sie unter den nach einem nuklearen Angriff bestehenden Bedingungen nur sehr unvollständig durchführbar sein wird. Man wird jedenfalls voraussetzen müssen, daß Personen, bei denen ein Auftreten von Krankheitserscheinungen erst nach einer längeren Latenz zu erwarten ist, die also einer relativ niedrigen Dosis ausgesetzt waren, vorerst noch weiter tätig und erst zum Zeitpunkt des Erscheinens von Krankheitssymptomen medizinisch zu betreuen sind, was nach etwa 2-3 Wochen der Fall wäre. Die Grenzdosis der Notwendigkeit für medizinische Versorgung wird auf 200 rem geschätzt.

Organisatorische Maßnahmen werden auch dringende Aufgaben unter vorsätzlicher Strahlenbelastung einschließen müssen. Die Risiken für die Belastungen, der sich manche Personen in Notfällen aussetzen müssen, lassen sich aus den für den Menschen bekannten Folgen für bekannte Dosisbereiche abschätzen. Schwer vorherzusagen ist die Entscheidungsmöglichkeit, ob bei Personen, die einer Strahlung ausgesetzt waren, eine gesundheitliche Schädigung mit Sicherheit feststellbar ist bzw. ausgeschlossen werden kann. Schwäche und Allgemeinstörungen können durchaus Symptome einer Strahlenerkrankung sein, ebenso aber auch Ausdruck psychischer Störungen, die nach einem Angriff sicher einen bedeutenden, nicht abschätzbaren Einfluß auf den Abfall der Leistungsfähigkeit haben.

Jodprophylaxe

Ergänzend soll noch auf die Jodprophylaxe hingewiesen werden, die besonders für Kinder von Bedeutung ist. Durch rechtzeitige Gaben von stabilem Jod kann die Aufnahme von Radiojodisotopen in die Schilddrüse blockiert werden. Noch 3-4 Stunden nach der Exposition gegen radioaktives Jod wird sie um etwa 50% vermindert. Am besten für eine solche Prophylaxe eignet sich das lagerfähige Kaliumjodid, von dem etwa 130 mg entsprechend 100 mg Jod täglich durch 3 - 10 Tage bis zur Abwendung der Gefahr einer Inkorporation von Radiojod verabreicht werden. Eine über Wochen und Monate dauernde Verabreichung von Jod kann zu Schilddrüsenerkrankungen führen. Der Radiojodgehalt der Milch muß nach Freisetzung von Radiojod ebenfalls kontrolliert werden, da Jod über die Nahrungskette Gras - Kühe - Milch - Mensch in den menschlichen Organismus gelangt. Es wurde schon erwähnt, daß auch Kontrollen von Lebensmittel auf Kontamination durch andere Radionuklide, die durch die Nahrung zugeführt werden könnten, erforderlich sind.

Literatur

Hall E.J.: Radiobiology for the Radiologist.
Harper & Row Publ. (1973)

The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness.
Ed.K.F.Hübner, Shirley A.Fry. Elsevier/North Holland 1980.

Late Biological Effects of Ionizing Radiation. IAEA STI/PUB/489,
Vienna 1978.

NCRP Report No. 39 (1971): Basic Radiation Protection Criteria.

NCRP Report No. 42 (1974): Radiological Factors Affecting
Decision-Making in a Nuclear Attack.

Norwood W.D.: Health Protection of Radiation Workers. Charles
C.Thomas Publ., Springfield Ill., 1975.

UNO-Studie Kernwaffen. Verlag C.H.Beck, München 1982

UNSCEAR Report 1977. United Nations New York, 1977

STRAHLENSCHUTZASPEKTE FÜR DEN SCHUTZRAUMBAU

P. Karacson
Amt der NÖ Landesregierung

Kurzfassung

Schutzräume sollen u.a. gegen die Strahlenwirkung von Kernwaffenexplosionen den sich darin aufhaltenden Personen ausreichend Schutz bieten. Die für diesen Zweck notwendigen Vorkehrungen und Maßnahmen werden beschrieben.

Abstract

Among^g other things shelters are meant to offer a sufficient protection against radiation after explosions of nuclear weapons. The precautions and measures that are necessary for this purpose are described.

Schutzräume, die den in Österreich geltenden Bauvorschriften bzw. den diesbezüglichen "Technischen Richtlinien" des Bundesministeriums für Bauten und Technik entsprechen, bieten Schutz gegen die Wirkungen konventioneller Waffen (Splitter- und Trümmerschutz), gegen Brandbomben und Brandbelastung, gegen Wirkungen chemischer Kampfstoffe und biologischer Kampfmittel sowie gegen die bei der Kernwaffenanwendung entstehende ionisierende Strahlung. Aufbauend auf die vorangegangenen Referate sollen die Vorkehrungen bei Schutzraumbauten gegen die schädlichen Wirkungen der ionisierenden Strahlen beschrieben werden.

Kernwaffenexplosionen können auf mehrfachem Weg bei ungeschützten Menschen Strahlenbelastungen hervorrufen.

- 1) Die sog. Initialstrahlung, auch Anfangsstrahlung genannt, besteht aus Gamma- und Neutronenstrahlung im unmittelbaren Detonationsbereich und dauert ungefähr eine Minute.

 - 2) Die sog. Rückstandsstrahlung wird vom radioaktiven Niederschlag (RN, Fallout) abgegeben. Dieser entsteht vornehmlich dann, wenn die Detonation in der Nähe des Erdbodens erfolgt. Große Mengen Gestein und Erdreich als "Träger der Radioaktivität" werden in die Höhe gerissen. Die größten Teile fallen innerhalb von zwei Tagen wieder zur Erde zurück ("früher Niederschlag" oder "örtlicher radioaktiver Niederschlag"). Im Gegensatz dazu bilden Kleinstteilchen den sog. "verzögerten Niederschlag", der sich sehr lange im Schwebezustand halten und daher auch weiterhin verfrachtet werden kann.
- Die vom radioaktiven Niederschlag erzeugte Strahlungsintensität sinkt relativ rasch nach der Formel $A_t = A_0 \cdot t^{-1/2}$. Die sogenannte "Siebener-Regel" ist eine praktische Faustregel, um das Abfallen der Dosisleistung zu berechnen.

ABKLINGEN DES RADIOAKTIVEN NIEDERSCHLAGES

("SIEBENER-REGEL")

ZEIT NACH DER EXPLOSION	STRAHLEN- INTENSITÄT	BEISPIEL
1 Stunde	1	200 rem/h
7 Stunden	$\frac{1}{10}$	20 rem/h
7 x 7 Stunden (ca. 2 Tage)	$\frac{1}{100}$	2 rem/h
7 x 7 x 7 Stunden (ca. 14 Tage)	$\frac{1}{1000}$	0,2 rem/h

Personen können sich am besten gegen die vorgenannten Strahleneinwirkungen durch Aufenthalt in einem Schutzraum schützen.

Der Schutzraum muß seinen Insassen gegen äußere und gegen innere Strahleneinwirkung Schutz bieten:

Die äußere Strahlenbelastung (das ist die Strahlendosis, die die Schutzrauminnsassen aufgrund der Einstrahlung durch die Umfassungsbauteile des Schutzraumes erhalten) soll während der ganzen Aufenthaltsdauer von ca. 14 Tagen max. 50 rem nicht überschreiten. Die Dosis entsteht im wesentlichen durch die durchdringende Gammastrahlung der Anfangs- und der Rückstandsstrahlung.

Die äußere Strahlenbelastung kann nun dadurch gemindert werden, daß möglichst viele abschwächende Schichten zwischen Gelände und den Aufenthaltsplätzen im Schutzraum angeordnet werden.

Die Schwächung der Dosisleistung von Gammastrahlenquellen durch Abschirmungen kann mit Hilfe der Gleichung $\dot{D} = \dot{D}_0 \cdot B \cdot e^{-\mu x}$ berechnet werden. \dot{D} = Dosisleistung im Schutzraum, \dot{D}_0 = Dosisleistung außerhalb des Schutzraumes, B = Aufbaufaktor, μ = Schwächungskoeffizient, x = Abschirmdicke.

Bei einer mittleren Gamma-Energie der Rückstandsstrahlung von 0,7 MeV beträgt der Schwächungsfaktor

$$\frac{\dot{D}}{\dot{D}_0} = \frac{1}{1000}, \text{ wenn die Abschirmung aus 60 cm Beton besteht.}$$

Soll der Schutzraum auch gegen Anfangsstrahlung schützen, sind aufgrund der wesentlich höheren Gamma-Energie von ungefähr 4,5 MeV und der hohen Dosis Wandstärken von 1,5 m erforderlich, Dies entspricht einem Schwächungsfaktor

$$\frac{\dot{D}}{\dot{D}_0} = \frac{1}{10.000}$$

Der Schwächungsfaktor wird in den Technischen Richtlinien "Schutzfaktor" genannt. Der in diesem Zusammenhang ebenfalls vorkommende Begriff "Reduktionsfaktor" soll den dosis-mindernden Beitrag bezeichnen, der von "Entstrahlungsmaßnahmen" herrührt. Als solche werden im Zivilschutz-Sprachgebrauch Dekontaminationsmaßnahmen an Gebäuden, Verkehrsflächen usw. bezeichnet.

Realistisch gesehen kann man jedoch hier allerhöchstens auf natürliche Einflüsse (Auswaschung durch Regen) hoffen, denn die hohe Dosisleistung im Freien verbietet wohl für solche Zwecke den Einsatz von Menschen, zumindest während den für die Dosisbelastung maßgeblichen ersten Tagen.

Wie hoch ist nun die Dosisleistung?

In Gebieten, in denen eine realistische Überlebenschance in Schutzräumen gegeben ist (das ist einige Kilometer ab dem Detonationsort), können im freien Gelände anfangs bis zu einigen Tausend rem/h auftreten. Eine angenommene Bezugsdosis von 3000 rem/h, die durch den radioaktiven Fallout eine Stunde nach der Detonation im Gelände um einen Schutzraum herrscht, wird durch einen Schutzfaktor von 0,001 auf 3 rem/h im Schutzraum reduziert. Die langfristig (ca. 14 Tage) aufgenommene Gesamtdosis innerhalb des Schutzraumes ergibt aufgrund der Siebener-Regel ungefähr den 5fachen Wert der Anfangsdosisleistung, das wären in diesem Beispiel $5 \times 3 = 15$ rem. Hiezu kommt dann noch die Strahlenbelastung durch den anschließenden Aufenthalt im Freien.

Wie werden nun diese erforderlichen Strahlenabschirmungen im Schutzraumbau verwirklicht?

Liegt der Schutzraum vollständig unter dem angrenzenden Gelände, so schirmt dieses bereits die seitliche Einstrahlung in den Schutzraum ab. Eine besondere Abschirmwand ist daher nicht erforderlich. Liegt die Deckenunterkante des Schutzraumes höher als das Geländeniveau, sind die Wände entsprechend zu verstärken.

Die "Technischen Richtlinien für Grundschutz in Neubauten" des Bundesministeriums für Bauten und Technik, Ausgabe 1976, geben als notwendige Wanddicken 50 cm Vollbeton für Deckenunterkante bis 0,60 m über Gelände bzw. 60 cm für Deckenunterkante bis 1,20 m über Gelände an.

Ein Schutzraum in Hanglage, wobei mindestens eine Wand zur Gänze über dem Gelände liegt, wird in den Richtlinien nicht behandelt; eine Wanddicke von 60 cm Vollbeton erscheint jedoch auch in diesem Fall als ausreichend.

Die Schutzraumdecke hat neben ihrer statischen Funktion (Aufnehmen der Trümmerlast beim Einsturz des darüberliegenden Gebäudes) und neben der Aufgabe, die Auswirkungen eines Gebäudebrandes abzumindern, ebenfalls die Aufgabe als Strahlungsabsorber zu wirken.

Sie soll gemäß den schon zitierten Richtlinien aus mindestens 25 cm Beton (Ortbeton oder Fertigteildecke) plus 5 cm brandhemmender Isolierschicht plus 5 cm Betonestrich bestehen. Diese insgesamt 30 cm dicke Betonschicht reicht im Vergleich zu den vorhin erwähnten Wanddicken noch nicht als ausreichende Abschirmung gegen den am Gebäudedach liegenden Fallout; es sind jedoch die weiteren Geschoßdecken hinzuzurechnen. Ferner bewirkt auch das quadratische Abstandsgesetz

$$\dot{D} = \Gamma \cdot \frac{A}{r^2}$$

Γ = Dosiskonstante

A = Aktivität am Dach

r = Abstand des Daches vom Schutzraum

eine beträchtliche Abminderung der Dosisleistung im Schutzraum. Unter Berücksichtigung dieser beiden Faktoren kommt man mit dieser Deckenstärke aus.

Schutzräume, die nicht unter einem Gebäude situiert sind, sollen laut den "Technischen Richtlinien" eine Erdüberdeckung von mindestens 80 cm aufweisen. Diese kann jedoch teilweise oder ganz durch entsprechende Betonschichten ersetzt werden.

Nicht an das umgebende Erdreich grenzende Schutzraumwände müssen eine Mindestdicke von 30 cm Vollbeton aufweisen. Dickere Wände sind dann notwendig, wenn durch Stiegenabgänge, Kellerfenster, Lichtschächte oder dergleichen eine Einstrahlung von außen möglich ist. Ein ausreichender Strahlenschutz erscheint nur dann gegeben, wenn Schutzschichten zwischen Außengelände und Schutzraum-Aufenthaltsraum von insgesamt 60 cm Beton vorhanden sind. Außer entsprechenden Wandverstärkungen besteht hier noch die Behelfsmöglichkeit, im Schutzfall diese Öffnungen mit Betonformsteinen oder Sandsäcken zu verschlichten bzw. zu verfüllen. Besonders zu beachten ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, daß Türblätter von Schutzraumtüren im allgemeinen fast keinen Schutz gegen Gammastrahlung bieten; abgewinkelte Schleusen oder ähnliche bauliche Vorkehrungen sind zum Schutz gegen Einstrahlungen durch die Schutzraumtüre erforderlich.

Sämtliche durch die Wände durchgehenden Luftleitungen sind mindestens 2fach abzuwinkeln; dadurch wird die direkte Einstrahlung von außen vermieden. Bei einem eventuell vorhandenen Notausgang ist dieselbe Maßnahme zu treffen.

Bei Schutzräumen höheren Schutzgrades, welche auch gegen die Anfangsstrahlung Schutz bieten sollen, sind entsprechend höhere Wand- und Deckenstärken erforderlich.

Die effektive Gammaenergie von 4,5 MeV erfordert hier Schutzschichten von insgesamt 1,50 m. Die Notausgänge sind in diesem Fall mindestens 3fach abzuwinkeln.

Der Schutzfaktor eines geplanten oder bereits bestehenden Schutzraumes kann tabellarisch ermittelt werden. Die dafür erforderlichen Tabellen und Diagramme finden sich im Anhang zu den "Technischen Richtlinien" des Bauministeriums.

Mit ihrer Hilfe kann auch geprüft werden, ob sich ein bereits vorhandener Kellerraum für den Einbau eines Schutzraumes eignet.

Noch einige Worte zur sogenannten "Neutronenbombe":

Wie groß ist hier die Schutzwirkung eines Schutzraumes?

Die Wirkung taktischer Neutronenwaffen ist auf das Kampfunfähigmachen von ungeschützten bzw. sich in Panzern aufhaltenden militärischen Einheiten ausgerichtet. Die auftretenden Dosen sind entsprechend hoch. Frei Luft entstehen z.B. in 1500 m Entfernung vom Detonationspunkt ca. 10.000 rem. Hinter ein Abschirmung von 60 cm Beton würden jedoch nur mehr ca. 50 rem auftreten. Die Schutzwirkung eines richtliniengemäßen Schutzraumes ist daher auch gegen diese Waffen recht hoch.

Neben diesen Schutzmaßnahmen gegen die "äußere Bestrahlung" sind die sich in Schutzräumen aufhaltenden Personen gegen eine innere Bestrahlung, nämlich gegen die Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Körper, vornehmlich durch kontaminierte (verstrahlte) Atemluft zu schützen.

Radioaktive Stoffe aus dem Fallout können sich in den menschlichen Organen ablagern und werden dort zum Teil über sehr lange Zeiträume (z.B. Sr 90!) aus ganz kurzer Entfernung ihre Strahlenenergie abgeben; die schädlichen Wirkungen treten schon bei verhältnismäßig kleinen Aktivitäten ein. Die Luft ist daher auf geeignete Art zu filtern; außerdem ist durch einen geringen Raumüberdruck, der zwischen 50 und 100 Pascal betragen soll, das Eindringen von radioaktiven Stäuben an undichten Stellen (z.B. Dichtungen der Schutzraumtüre) wirksam zu verhindern. Bevor daher die Atemluft durch ein elektrisch oder händisch betriebenes Lüftungsaggregat in den Schutzraum gefördert wird, muß sie durch einen Filter geleitet werden. Dieser besteht bei Grundschtzsbauten in einem Betonkasten, der mit einem speziellen Filtersand gefüllt sein muß. Die Schütthöhe muß 1 m betragen; die Grundfläche richtet sich nach der Größe des Schutzraumes. Für je 25 Personen ist eine Grundfläche von $1,5 \text{ m}^2$ erforderlich.

Der Filtersand, in diesem Fall ein sogenannter "Hauptfiltersand", muß eine große Oberfläche aufweisen, um möglichst viele radioaktive Aerosole an sich binden zu können.

Kalksande sind hiefür nicht geeignet. In Österreich wird für diesen Zweck in der Steiermark ein eigener Sand gewonnen; seine Eignung wurde im Forschungszentrum Seibersdorf geprüft; auch die Herstellungsqualität wird laufend überwacht. Leider versagt der Sandfilter gegen CO und CO₂ sowie gegen bestimmte Nervengase. Im Falle eines Brandes in der Nähe des Schutzraumes muß daher die Luftzufuhr eingestellt werden; dieser Zustand kann infolge der Luftreserven einige Stunden aufrecht erhalten werden.

Eine andere Möglichkeit der Raumluftfilterung besteht in der Kombination Sandvorfilter - ABC-Filter. Der Sand selbst besteht aus dem gleichen vorerwähnten Gesteinsmaterial; die Korngrößenverteilung ist in diesem Fall unterschiedlich zum Hauptfiltersand. Die Schütthöhe muß 2 m betragen. Der ABC-Filter in Raumfilterbauweise besteht aus Schwebstofffilter und Aktivkohlefilter und muß eine Feinstreinigung der Außenluft bei atomaren, bakteriellen und chemischen Luftverseuchungen gewährleisten. Die Vorfilter - ABC-Filter - Kombination wurde früher bei Sammelschutzräumen vorgeschrieben; aus mehreren Gründen ist man dagegen heute bestrebt, auch im Sammelschutzraum mit dem Hauptfiltersand auszukommen.

Die Abluft wird im Schutzfall über spezielle Überdruckventile abgeführt. diese sorgen einerseits für die Aufrechterhaltung des Raumüberdruckes; andererseits schließen sie sofort automatisch bei durch Explosionen hervorgerufenen Druckerhöhungen.

Durch die im Sandfilter nach Kernwaffenexplosionen bei Lüfterbetrieb abgelagerten Aktivitäten entsteht die Möglichkeit der Einstrahlung aus diesem Bereich in den Schutzraum (äußere Strahlenbelastung). Frühere theoretische Diskussionen über die hier möglichen Dosisleistungen ergaben notwendige Abschirmdicken bis zu 60 cm Beton; durch ein Rechengutachten aus dem Jahre 1980 scheinen diese Bedenken übertrieben zu sein.

Die in den "Technischen Richtlinien" angegebene Wanddicke von 30 cm zwischen Sandfilter und Aufenthaltsraum ist aufgrund dieser Berechnung jedenfalls ausreichend. Die geforderten Eigenschaften der beiden Filtersandtypen sind in einer eigenen "Technischen Richtlinie für Filtersand" des Bautenministeriums festgelegt.

Über die Filterwirkung hinaus hat der Sandfilter noch weitere Aufgaben (Druck- und Wärmepuffer), auf die jedoch hier nicht weiter eingegangen werden soll.

Sofern nicht ein geeigneter Brunnen im Schutzraumbereich vorhanden ist, ist auf die Möglichkeit der Verseuchung des Ortswassernetzes Bedacht zu nehmen. Jedenfalls ist mit einem Trinkwasserbedarf von 2,5 Liter pro Person und Tag zu rechnen. Versuche mit üblichen Trinkwasserfilteranlagen, wie sie von Einsatzorganisationen verwendet werden, waren bei dieser Anwendung nach vorliegenden Informationen nicht erfolgreich; der Dekontaminationsfaktor erwies sich als nicht ausreichend.

Die Abwasserleitung muß wiederum mit einem Rückstoßventil oder einem anderen geeigneten Sperrorgan versehen werden. Sie bildet sonst eine gegen Explosionsdruck ungeschützte Leitung und würde bei einem äußeren Luftstoß ihren Inhalt in den Schutzraum entleeren.

Abschließend soll aus der Erfahrung des Autors berichtet werden, welche strahlenschutztechnischen Fehler sehr oft bei der Planung und Ausführung von Schutzräumen gemacht werden.

Die Lage eines Schutzraumes innerhalb des Gebäudes bestimmt schon wesentlich seine abschirmende Wirkung gegen äußere Einstrahlung. Er soll sich sozusagen "im hintersten Winkel" des Kellers befinden. Nun gibt es z.B. in Einfamilienhäusern praktisch keine Kellerräume ohne natürliche Belichtung; d.h. die Schutzraumwände sind von den Fenstern her Einstrahlungen ausgesetzt. Abhilfe kann auf zweifache Art geboten werden:

Entweder man verstärkt die Schutzraumwände auf insgesamt 60 cm Beton oder es werden Betonsteine oder Sandsäcke im erforderlichen Ausmaß vor die Fensteröffnungen geschichtet. Besonders zu beachten ist dabei, daß die Schutzraamtüre, wenn sie nur als Gastüre oder Stahl-drucktüre ausgebildet ist, fast keinen Strahlenschutz darstellt. Vor bzw. unmittelbar nach der Schutzraamtüre müssen daher entsprechende Abschirmwände vorhanden sein. Auch sogenannte "Panzer Türen" aus Stahlbeton sind im allgemeinen nicht 60 cm dick. Bei Sammelschutzraumtüren, z.B. in Schulen, liegen diese jedoch des öfteren direkt im Strahlengang von der Eingangshalle her. Eine Ausführung in Barytbeton kann hier den Schwächungsgrad ausreichend erhöhen. Überhaupt muß ausgesprochen werden, daß die moderne Architektur mit ihren großen Fensterflächen, großzügig geplanten Stiegenabgängen sowie der material- und energiesparenden Leichtbauweise für den Einbau von Schutzräumen erhebliche Nachteile bringt.

Fehler treten auch sehr oft bei den Einbauteilen auf. Die in den Richtlinien geforderte 2fache Abwinkelung der Luftleitungen wird des öfteren so knapp dimensioniert, daß ein Durchblick durch das Z-Rohr möglich ist. Wenn sich in weiterer Linie noch ein Kellerfenster befindet, wäre hier eine direkte Einstrahlung von außen in den Schutzraum möglich.

Manchmal liegt neben der Schutzraum-Außenwand eine Keller-außenstiege; diese Wand muß dann auf 60 cm Beton verstärkt werden.

Führen durch den Schutzraum Abfallrohre, so sind sie mit Beton zu ummanteln. Ein geborstener oder verlegter Kanal würde ja das Aufstauen der kontaminierten Niederschlags-wässer bewirken.

Die Dichtigkeit des Schutzraumes ist für die Aufrechterhaltung des Raumüberdruckes erforderlich. An die Schutzraumtüren sind daher in dieser Beziehung besondere Anforderungen zu stellen. Sie müssen in geschlossenem Zustand mit der Zarge versetzt werden; trotzdem erweist sich ein erheblicher Prozentsatz als undicht. Weitere Undichtheiten bilden Rohrdurchführungen. In Einzelfällen erwies sich der Fußboden als besonders luftdurchlässig; bei Ziegelgewölben sind Undichtheiten fast regelmäßig anzutreffen.

Zum Filtersand ist zu sagen, daß früher oft ungeeigneter Sand eingefüllt wurde. Wenn dieser z.B. zu viele staubförmige Anteile aufweist, ist der Schutzraum nach dem Einschalten der Lüftungsanlage von Staubluft erfüllt. Ein staubfreier Fußbodenbelag ist aus dem gleichen Grund erforderlich.

Eine besondere Einstrahlungsgefahr besteht auch dann, wenn der Sandfilter außerhalb des Schutzraumes im Freien unterhalb des Geländeniveaus liegt.

Abschließend wird bemerkt, daß eine ausreichende Beurteilung eines Schutzbaues aufgrund der verschiedenartigen Probleme nur durch die Zusammenarbeit von Experten mehrerer Fachdisziplinen (Hochbau, Strahlenschutz, Maschinenbau etc.) erfolgen kann.

Literatur:

- (1) "Technische Richtlinien für Grundschatz in Neubauten samt Anhang für Grundschatz in bestehenden Gebäuden", Ausgabe 1976, herausgegeben vom Bundesministerium für Bauten und Technik; Österr. Staatsdruckerei L 61 37516
- (2) "Technische Richtlinien für die Anordnung mehrerer Schutzzräume in einem Raumverband und für Sammelschutzräume", Ausgabe 1972, herausgegeben vom Bundesministerium für Bauten und Technik; Österr. Staatsdruckerei L 61 43441
- (3) "Technische Richtlinien für Abschlüsse von Schutzraumbauten", Ausgabe 1976, herausgegeben vom Bundesministerium für Bauten und Technik; Österr. Staatsdruckerei L 61 37546
- (4) "Technische Richtlinien für Filtersand", Ausgabe 1976; herausgegeben vom Bundesministerium für Bauten und Technik; Österr. Staatsdruckerei L 61 37536
- (5) "Technische Richtlinien für Luftstoß-Schutzbauten", Ausgabe 1970, Amtliche Nachrichten des Bundesministeriums für Bauten und Technik; Sonderausgabe
- (6) Sauer mann, Paul-Friedrich: "Strahlenschutz durch Abschirmung"; Buchreihe der Atomkernenergie Band 11, Verlag Karl Thiernig, München
- (7) Sahin, S., A. Erisen, S. Selvi, S. Yalcin: "Untersuchung der Strahlenschutzmöglichkeiten gegen die Neutronenbombe" (in Englisch) Atomkernenergie/Kerntechnik Bd. 35 (1980), Lfg. 3, Seite 175
- (8) "Die Neutronenwaffe - Fakten und Fiktionen" aus: Civil Defence, XXVII. Jahr Genf, July 1980. Übersetzung aus dem Englischen erschienen in Zivilverteidigung Nr. 4, IV. Quartal 1980
- (9) Pohlit, W.: "Strahlenwirkungen und Strahlenschutz im Katastrophenfall" Zivilverteidigung Nr. 1, I. Quartal 1982

(15) Kamelander, G.:

"Gutachten betreffend die Strahlenbelastung in einem Schutzraum durch Gammastrahlung infolge der Schutzraumfilterbelastung mit radioaktiven Aerosolen"

G 20 - 80 vom 26. 9. 1980

Forschungsauftrag Nr. 16.552/9-1/6/78 an die Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie Ges.m.b.H., jetzt Forschungszentrum Seibersdorf Ges.m.b.H.

SCHUTZRAUMBAU IN ÖSTERREICH

R. Schultz
Bundesministerium für Bauten und Technik

Min.Rat Dipl.Ing. Schultz dankt für die Einladung und die gebotene Gelegenheit, vom Standpunkt des Bautechnischen Ministeriums einen kurzen Überblick über den Schutzraumbau in Österreich zu geben.

Allgemein sei zum Schutzraumbau zu sagen, daß die Menschen ihrer Natur nach bestrebt sind, sich gegen Gefahren zu schützen, seien es nun Gefahren natürlichen Ursprungs oder Gefahren, die durch andere Menschen verursacht werden.

Im Lauf der Zeit haben diese Gefahren zugenommen und in unserer modernen Zeit ist als neue und dominierende Komponente die Gefahr der radioaktiven Verstrahlung hinzugetreten, gleichgültig, durch welche Ursache immer eine derartige Verstrahlung hervorgerufen sein sollte.

Aus dieser Perspektive sei das österreichische Schutzraumkonzept daher so zu sehen, daß den möglichen Bedrohungen sowohl vom Standpunkt des Katastrophenschutzes begegnet werden und zu diesem Zweck durch die konstruktive Ausbildung der Umfassungsbauteile und Abschlüsse der Schutzräume ein entsprechender Splitterschutz, Trümmerschutz und Brandschutz, vor allem aber auch eine entsprechende Abschirmung gegen radioaktive Rückstrahlung (und damit auch gegen allfällige chemische und bakteriologische Einwirkungen) geboten werden soll. Außerdem müssen Schutzräume mit einer entsprechenden Schutzbelüftungsanlage und Einrichtung für einen längeren Aufenthalt ausgerüstet sein.

Dieser Schutzzumfang wird als Grundschutz bezeichnet. Hierbei wird im Hinblick auf den Neutralitätsstatus unseres Landes davon ausgegangen, daß Österreich nicht direkt durch Kampfhandlungen betroffen wird und höchstens mit Fernwirkungen derselben zu rechnen hätte. Ein darüber hinausgehender Schutzzumfang wird in diesem Sinne nicht für erforderlich gehalten und wäre auch vom Kostenstandpunkt nicht realisierbar.

Da es sich beim Grundschutz um einen Minimalenschutz handelt, ist jedoch festzustellen, daß andererseits auch eine Reduktion der im Grundschutz vorgesehenen technischen Anforderungen keinesfalls vertreten werden könnte.

Zu bemerken ist, daß aus praktischen und wirtschaftlichen Erwägungen, Schutzräume nach Möglichkeit auch für eine Doppelverwendung herangezogen werden sollen, zumal hierdurch ihre Instandhaltung und Funktionsfähigkeit leichter gesichert werden kann.

Am Rande sei erwähnt, daß im österreichischen Schutzraumbau für bestimmte Zwecke auch ein erhöhter Schutz vorgesehen werden kann, wobei Schutzräume dieses Typs in gewissem Umfang auch Schutz gegen Luftstoß, Sog und allfällige Anfangsstrahlung bieten.

Ziel der Bestrebungen auf dem Gebiet des Zivilschutzes ist es, in ähnlicher Weise wie in anderen Ländern die gesamte Bevölkerung mit Schutzplätzen zu versorgen. In diesem Zusammenhang wären zunächst bei allen Neubauten Schutzräume vorzusehen, zumal deren Errichtung in dieser Phase in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht am rationellsten ist. Da im Hinblick auf die geringe Neubau-

rate auf diese Weise eine baldige Versorgung der Bevölkerung mit Schutzräumen nicht zu realisieren wäre, müßte jedoch auch auf den Einbau von Schutzräumen in bestehende Häuser besonderer Wert gelegt werden.

Was die Zuständigkeit und organisatorischen Voraussetzungen auf diesem Gebiet betrifft, ist festzustellen, daß es sich bei der Materie Zivilschutz und insbesondere beim Schutzraumbau um eine sogenannte "komplexe Materie" handelt.

Nach dem Bundesministeriengesetz hat für den Bereich des Bundes das Bundesministerium für Bauten und Technik eine Zuständigkeit für die bautechnischen Angelegenheiten des Zivilschutzes. In diesem Zusammenhang ist das Bautechnische Ministerium bemüht, in Form der bekannten Technischen Richtlinien die erforderlichen Grundlagen für den Schutzraumbau zu schaffen, wobei es im Rahmen der ULV bzw. des Teilbereiches der zivilen Landesverteidigung mit den übrigen an dieser Materie interessierten Stellen des Bundes und der Länder und Gemeinden sowie der Einsatzorganisationen zusammenwirkt.

Ferner ist darauf hinzuweisen, daß in diesem Zusammenhang zahlreiche Forschungsvorhaben und Musterstudien durchgeführt wurden oder in Durchführung begriffen sind und auf diese Weise ein weitreichender Überblick über die wichtigsten Probleme des Schutzraumbaues gewonnen werden konnte, wie z.B. hinsichtlich der Abschirmwirkung der Schutzräume und der Schutzbelüftung.

Um die Qualität der im Schutzraumbau verwendeten Produkte kontrollieren zu können, wurden eine Reihe von Prüfmöglichkeiten vorgesehen. Ferner wird derzeit ein Verfahren entwickelt, um den Schutzwert von bestehenden Schutzräumen an Ort und Stelle zu prüfen.

Im Hinblick auf die große Bedeutung des Einbaues von Schutzräumen in bestehende Häuser wurden Grundlagen für die Erhebung des Strahlenschutzwertes und der sonstigen Merkmale von Gebäuden geschaffen und ist derzeit eine Richtlinie für die generelle Schutzraumplanung der Gemeinden in Ausarbeitung.

Von großer Bedeutung ist ferner, daß von den meisten Bundesländern im Rahmen ihrer Zuständigkeit für Bauangelegenheiten in den Bauordnungen die Verpflichtung zum Einbau von Schutzräumen bei Neubauten verankert wurde.

Schließlich wurden seitens des Bundes und einiger Länder auch Förderungsmaßnahmen für den Einbau von Schutzräumen vorgesehen und bei öffentlichen Bauten in vielen Fällen Schutzräume errichtet.

Abschließend stellte der Referent fest, daß auf dem Gebiet des Schutzraumbaues in Österreich in den letzten Jahren beachtliche Fortschritte erzielt werden konnten. Trotzdem stehe Österreich auf diesem Gebiet erst am Anfang und werde es noch großer Anstrengung bedürfen, um den Schutzraumbau im größeren Umfang in Gang zu bringen und das insgesamt angestrebte Ziel zu erreichen.

DIE ALARMORGANISATION FÜR DEN FALL ERHÖHTER
RADIOAKTIVITÄT IN DER SCHWEIZ

W. Jeschki, Hauptabteilung für die Sicherheit von Kern-
anlagen, Würenlingen, Schweiz

1. Einleitung

Die Alarmorganisation für den Fall erhöhter Radioaktivität hat vom Schweizerischen Bundesrat den Auftrag erhalten, jederzeit in der Lage zu sein, beim Auftreten einer gefährlich erhöhten Radioaktivität gleich welcher Herkunft deren Ausmaß und Verlauf im ganzen Lande verfolgen und die notwendigen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung empfehlen zu können. Als Bedingung wurde gestellt, die verfügbaren zivilen und militärischen Mittel koordiniert einzusetzen.

Hier werde ich erläutern, welche gesetzliche Grundlagen bestehen, um allen beteiligten Stellen verschiedener "Hierarchiestufen" (Bund, Kanton, Gemeinde, zivile, militärische Stellen) eine möglichst reibungslose Zusammenarbeit zu ermöglichen. Ich werde auf die Dosisrichtwerte zu sprechen kommen, die als Grundlage für die Anordnung von verschiedenen Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung dienen. Welche Organisation geschaffen wurde, um die vielfältigen Aufgaben - Erkennen, Messen, Beurteilen der radioaktiven Gefährdung, Alarmieren von Behörden und Bevölkerung, Entscheid über die geeignetsten Schutzmaßnahmen, Durchführung der Schutzmaßnahmen, Information der Bevölkerung etc. - rasch und wirksam erfüllen zu können, wird kurz diskutiert. Schließlich werden die Mittel -

Verbindungsmittel, Alarmmittel, Schutzräume, Meßgeräte etc. - erwähnt, die der Alarmorganisation zur Verfügung stehen.

Zum Schluß werde ich versuchen zu beurteilen, wie die heute bestehende Alarmorganisation ihre Aufgabe in einem Ernstfall bewältigen könnte, und werde darauf eingehen, welche Anstrengungen unternommen werden, um den Einsatz der Alarmorganisation noch wirksamer zu gestalten.

2. Gesetzliche Grundlagen

Es liegt mir fern, hier eine juristische Abhandlung zu schreiben. Da aber bei der Arbeit in der Alarmorganisation für den Fall erhöhter Radioaktivität, in der, wie schon erwähnt, die verschiedensten Stellen involviert sind, möglichst klare gesetzliche Regelungen notwendig sind und ein Fehlen solcher Regelungen das Funktionieren der Alarmorganisation, zumindest in der Vorbereitungsphase, unheimlich erschweren kann, will ich Ihnen doch die wichtigsten schweizerischen Dokumente vorstellen.

Zu nennen ist hier an erster Stelle die Verordnung über die Alarmorganisation für den Fall erhöhter Radioaktivität (1). Sie legt die später noch zu beschreibende Organisation und die Kompetenzen der beteiligten Stellen fest. Vor allem zu erwähnen sind die in der Verordnung verankerte Zusammenarbeit einer zivilen Stelle mit militärischen Stellen und die Verpflichtung der Kantone und Gemeinden, die angeordneten Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung durchzuführen.

Weiters erscheinen mit die Vereinbarungen zwischen dem Schweizerischen Bundesrat und den Regierungen der Bundesrepublik Deutschland bzw, der Republik Frankreich über den radiologischen Notfallschutz erwähnenswert (2, 3). In ihnen

werden die Vertragsparteien verpflichtet, sich gegenseitig über solche radiologische Notfallsituationen auf ihrem Staatsgebiet zu unterrichten, die das Nachbarland in Mitleidenschaft ziehen könnten. Zu diesem Zwecke errichtet und unterhält jede Vertragspartei ein geeignetes Informationssystem mit einer permanent funktionierenden zentralen Stelle. Dies ist für die Schweiz von besonderer Bedeutung, da im westlichen Nachbarland Lager von Atomsprenköpfen nicht allzuweit von der Grenze entfernt existieren und da Westwindlagen meteorologisch vorherrschend sind.

3. Dosisrichtwerte für die Anordnung von Schutzmaßnahmen

Da die meisten Maßnahmen, die zum Schutz vor radioaktiver Strahlung dienen können, sehr einschneidend in das Leben jedes Einzelnen eingreifen, sind Dosisrichtwerte für die Anordnung dieser Maßnahmen notwendig. Auf diese Richtwerte kann sich im Ernstfall der Einsatzleiter stützen, wobei aber betont werden muß, daß das Erreichen eines Richtwertes nicht automatisch die entsprechende Maßnahme zur Folge haben darf. Eine Beurteilung der den Unfall begleitenden Umstände, wie Wetterlage, Ausmaß der kontaminierten Region etc. hat Einfluß auf die Anwendung der Dosisrichtwerte.

Tabelle 1 zeigt das heute in der Schweiz gültige Dosis-Maßnahmenkonzept für den Fall einer Nuklearexplosion oder eines Kernkraftwerk-Unfalles im Frieden (4).

An dieser Stelle müssen einige Randbedingungen erwähnt werden, die für das Dosis-Maßnahmenkonzept gelten. Die Anwendung ist beschränkt auf Friedenszeiten, da im Kriegsfall andere, wichtigere Gesichtspunkte die Dosisrichtwerte beeinflussen. Weiters ist es das Hauptziel dieses Konzeptes,

die Dosis für die Bevölkerung bei Nuklearexplosionen im benachbarten Ausland bzw. Kernkraftwerk-Unfällen in Grenzen zu halten. Sollte ein nuklearer Sprengkörper im Inland, z.B. bei einem Flugzeugabsturz, detonieren, werden die Dosisrichtwerte sicher nicht eingehalten werden können.

4. Organisatorische Strukturen

Der Schutz der Bevölkerung beim plötzlichen Auftreten gefährlich erhöhter Radioaktivität kann nur gewährleistet werden, wenn bei den beteiligten Stellen auf Bundes-, Kantons- und Gemeindeebene eine klare Organisation besteht. Der Bund hat einen Alarmausschuß geschaffen. Der Alarmausschuß besteht aus 15 Mitgliedern, die sich aus den Eidgenössischen Departementen und aus Fachstellen des Bundes rekrutieren. Dem Alarmausschuß stehen zwei permanent besetzte Fachstellen zur Verfügung, die Alarmstelle und eine Überwachungszentrale. Die Alarmstelle wird durch die Schweizerische Meteorologische Anstalt (SMA) betrieben und muß jederzeit in der Lage sein, Meldungen entgegen zu nehmen und zu übermitteln. Sie bietet beim Erhalt von Meldungen über gefährlich erhöhte Radioaktivität oder über Ereignisse, die eine solche verursachen können, die Einsatzgruppe der Überwachungszentrale auf.

Die Einsatzgruppe, die aus AC-Fachleuten zusammengesetzt ist, führt die Lagebeurteilung durch. Ist ihrer Meinung nach eine Gefährdung der Schweiz oder einzelner Gebiete in schwächerem oder mittlerem Grade wahrscheinlich, so meldet sie das dem Chef des Alarmausschusses und dem zuständigen Departement mit dem Antrag, die Bevölkerung zu orientieren.

Ist hingegen innert kurzer Zeit Katastrophengefahr für das Land oder einzelner Gebiete davon zu erwarten, dann hat die Einsatzgruppe die betroffene Bevölkerung direkt zu warnen und ihr geeignete Schutzmaßnahmen zu empfehlen. Weiters hat sie die zuständigen Behörden auf Bundes-, Kantons- und Gemeindeebene zu alarmieren.

Die Kantone unterhalten ebenfalls permanent erreichbare Meldestellen, die üblicherweise mit den Polizeistellen identisch sind. Beim Eintreffen einer Meldung von der Überwachungszentrale über gefährlich erhöhte Radioaktivität werden von der Meldestelle kantonale Katastrophenstäbe aufgebildet.

Auf Gemeindeebene existieren Gremien (z.B. Gemeindestäbe), die die Führung der Gemeinde im Katastrophenfall übernehmen. Bei vielen kleineren Gemeinden ist allerdings eine Permanenz bei der Meldestelle nicht gegeben.

Wesentlich an der Organisationsstruktur ist, daß die Meldungen über Ereignisse, die zu einer radioaktiven Gefährdung der Bevölkerung führen können, an einer Stelle zusammenlaufen und daß diese Stelle auch die Beurteilung der Lage und den Entscheid über notwendige Schutzmaßnahmen trifft. Die Durchführung der Schutzmaßnahmen obliegt dann den kantonalen und insbesondere den kommunalen Behörden.

5. Mittel der Alarmorganisation

Welche Mittel stehen der Alarmorganisation zur Erfüllung ihrer anspruchsvollen Aufgabe zur Verfügung?

Zur Beantwortung dieser Frage seien die Mittel in folgende Kategorien eingeteilt:

- Kommunikationsmittel
- Alarmmittel
- Schutzräume
- Meß- und Laboreinrichtungen
- Sanitäreinrichtungen.

Kommunikationsmittel

Von großer Bedeutung ist hier, daß die Verbindungen zwischen der Überwachungszentrale und der kantonalen Stellen einerseits, den kantonalen und kommunalen Stellen andererseits, gewährleistet werden können. Ebenso wichtig ist, daß die Überwachungszentrale in dringenden Fällen die Bevölkerung direkt informieren und warnen kann.

Der Überwachungszentrale stehen für ihre Aufgaben die Verbindungsmittel der Polizei zur Verfügung, weiters der direkte Zugang zu den Radiostudios und Radiosendern. Das Problem der Kommunikation zwischen der Überwachungszentrale und kantonalen Behörden bzw. der Bevölkerung ist also gelöst. Noch nicht vollständig gelöst sind die Verbindungsprobleme zwischen den kantonalen und kommunalen Behörden. Es fehlen hier teilweise rund um die Uhr besetzte Alarmstellen in den Gemeinden und es fehlen, zusätzlich zur normalen Telefonleitung, sichere und rasch bedienbare Übermittlungsmittel.

Alarmmittel

Da Radioaktivität nicht von sich selbst auf sich aufmerksam macht, muß die Bevölkerung auf das Vorhandensein eines gefährlichen Zustandes aufmerksam gemacht werden. Dazu stehen zwei Sirenenzeichen zur Verfügung (Fig. 1), der

"Allgemeine Alarm", der die Bevölkerung auffordert, Radio zu hören, und der "Strahlenalarm" mit der Bedeutung, Keller oder Schutzräume aufzusuchen. Diese Zeichen werden durch ortsfest installierte Sirenen oder mittels mobiler Sirenen verbreitet.

Die Dichte des Sirenennetzes in der Schweiz ist heute noch unterschiedlich. In der Umgebung der schweizerischen Kernkraftwerke (Gebiet mit einem Radius von 20 km um jedes Kernkraftwerk) wurden im Rahmen der Notfallplanung für Kernkraftwerke zahlreiche Sirenen installiert. In den übrigen Regionen ist der Zivilschutz bestrebt, bis zum Jahr 1985 die heute noch gebietsweise mangelhaften Alarmierungsmöglichkeiten zu verbessern.

Schutzräume

Heute stehen für die Bevölkerung etwa 6 Millionen Schutzplätze bereit. Davon befinden sich ca. 4 Millionen Plätze in vollwertigen Schutzräumen, also in unterirdischen, allseitig alarmierten Betonbauten, die künstlich belüftet werden können. Bei den übrigen Schutzplätzen handelt es sich um Plätze in Behelfsschutzräumen, also in bestehenden unterirdischen Räumen.

Bei einer Kernwaffenexplosion in Friedenszeiten, die unvorbereitet ein großes Gebiet der Schweiz durch radioaktiven Ausfall in Mitleidenschaft ziehen könnte und einen längeren Aufenthalt in den Schutzräumen erfordern würde, besteht allerdings eine Schwierigkeit: Die Schutzräume werden in der Regel friedensmäßig, z.B. als Lagerplatz, genutzt. Für einen längeren Bezug müssen sie ausgeräumt und eingerichtet werden.

Meß- und Laboreinrichtungen

Für die Messung der durch radioaktiven Ausfall verursachten Dosisleistung werden Meßgeräte mit einem Dosisleistungsbereich von 1 mR/h bis 1000 R/h verwendet. Diese Meßgeräte sind bei Armee und Zivilschutz vorhanden. Die Verstrahlung von Lebensmitteln kann in dafür eingerichteten Labors ermittelt werden. Bei einem Zwischenfall im Frieden müßten allerdings die meisten Labors für diese Messungen, die in einer kontaminierten Umgebung durchzuführen sind, adaptiert werden.

6 sogenannte Frühwarnposten überwachen kontinuierlich die Luft und geben Alarm, wenn das Filter mit unüblich großen Mengen radioaktiver Stoffe beaufschlagt wird. Ein Netz von ca. 110 Atomwarnposten, die über die ganze Schweiz verteilt sind und sich meistens bei Polizeiposten befinden, dient zur Messung der externen Verstrahlung. Die Posten verfügen über ein festinstalliertes Atomwarngerät, das beim Überschreiten eines Strahlenpegels von 10 mR/h Alarm auslöst. Daneben sind bei jedem Atomwarnposten Dosisleistungs-Meßgeräte vorhanden. Die fest installierten Atomwarngeräte werden derzeit durch ein automatisches Dosis- Meß- und Alarmnetz ersetzt. Sobald dieses Netz in Betrieb ist, wird alle 10 Minuten die Dosisleistung jedes Gerätes an die Überwachungszentrale gemeldet und dort beim Vorliegen erhöhter Strahlenpegel ein Alarm ausgelöst.

Sanitätseinrichtungen

Zu pflegende Personen können in ca. 1000 Sanitätsanlagen untergebracht werden, die auch in Friedenszeiten relativ rasch bezugsbereit wären. In diesen Anlagen hätten ca. 7500 Patienten Platz. 90 dieser Anlagen sind dabei als Notspitäler und geschützte Operationsstellen konzipiert.

6. Beurteilung und Ausblick

Behörden und Bevölkerung würden heute den Auswirkungen einer Kernwaffenexplosion in Friedenszeiten nicht unvorbereitet gegenüber stehen. Eine schnelle Ermittlung und Beurteilung der verursachten radioaktiven Gefährdung wäre möglich. Die für die Durchführung der Schutzmaßnahmen zuständigen kantonalen und kommunalen Stellen könnten rasch informiert und gewarnt werden. Ebenso wäre es möglich, der Bevölkerung durch das Radio geeignete Verhaltens- und Schutzmaßnahmen mitzuteilen.

Anstrengungen sind noch zu unternehmen, um auf Gemeindeebene eine permanent besetzte Alarmstelle einzurichten und diese Alarmstellen von den kantonalen Katastrophenstäben aus verbindungsmäßig zu erschließen.

Weiters ist das bestehende Sirennetz zu verdichten, um die Bevölkerung jederzeit auf eine Gefahr aufmerksam machen zu können.

Literatur

- (1) Verordnung über die Alarmorganisation für den Fall erhöhter Radioaktivität (vom 9.9.1966, Stand 1.10.1981)
- (2) Vereinbarung zwischen dem Schweizerischen Bundesrat und der Regierung der Bundesrepublik Deutschland über den radiologischen Notfallschutz (10.1.1979)
- (3) Accord entre le Conseil fédéral suisse et le Gouvernement de la République française sur les échanges d'informations en cas d'accident pouvant avoir des conséquences radiologiques (13.12.1979)
- (4) Strahlenschutz, Alarmausschuß der Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität, Zusammenarbeit mit dem Zivilschutz (Prof.O.Huber, Zivilschutz 5/79).

Tabelle 1

Dosis-Massnahmenkonzept für den Fall einer Nuklearexplosion oder eines KKW-Unfalles im Frieden

A. Massnahmenkonzept bei Gefährdung durch externe Bestrahlung

Richtwerte f. Prognosen¹ od. Erwartungsdosis² extern, falls keine Massnahmen ergriffen werden (Ganzkörperdosis im Freien pro Ereignis; Gebietsabgrenzungen)

< 1 rem	keine Massnahmen, resp. deren Aufhebung
1 - 10 rem	Fenster schliessen, Aufenthalt im Innern des Hauses, ausser für dringliche Arbeiten, Grobentstrahlung beim Eintritt aus dem Freien; Verkehrsumleitungen
10 - 25 rem	Aufenthalt im Schutzraum oder im Keller, ausser für dringliche Arbeiten im Haus
> 25 rem	Aufenthalt im Schutzraum oder im Keller, eventuell Evakuierung (wenn dadurch mehr als 15 rem Verminderung der Dosis erzielt wird)

Mit diesem Konzept wird angestrebt, dass keine Person der Bevölkerung eine Ganzkörperdosis infolge externer Bestrahlung grösser als 5 rem erhält.

Der Richtwert von 25 rem für den Einsatz von Rettungspersonal und Angehöriger unerlässlicher öffentlicher Dienste (inkl. Armee und Zivilschutz) soll im Frieden nicht überschritten werden. Für befohlene Einsätze zur Lebensrettung oder Rettung grosser Sachwerte von öffentlicher Bedeutung gelten höhere Werte bis 50 rem, darüber nur Einsatz von Freiwilligen.

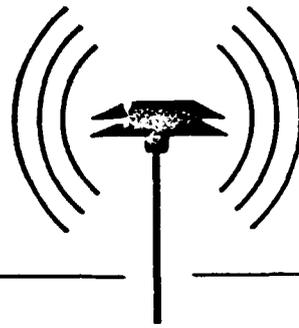
B. Massnahmenkonzept bei Gefährdung durch interne Bestrahlung infolge Einnahme von verstrahlten Lebensmitteln

Richtwerte f. Prognosen² od. Erwartungsdosis³ intern, falls keine Massnahmen ergriffen werden (Ganzkörperdosis pro Ereignis; Gebietsabgrenzungen)

< 0,5 rem	keine Massnahmen, resp. deren Aufhebung
> 0,5 rem	Versorgung aus eigenen Notvorräten: Konserven, Milchpulver, Dauerlebensmittel, Tiefkühlprodukte; Sperrung von verstrahlten Frischlebensmitteln: Milch, Gemüse, Früchte, etc. Nach durchgeführten Messungen Entscheidung über Lockerung der Sperrmassnahmen, resp. spezielle Verwertung oder Beseitigung verstrahlter Lebens- und Futtermittel.

- 1) Dosisabschätzung aufgrund des Ereignisses und der meteorologischen Situation.
- 2) Dosisabschätzung aufgrund der Geländeverstrahlung
- 3) Dosisberechnungen aufgrund der Aktivitäten von Lebensmitteln in koch- oder essbarem Zustand (z.B. Gemüse und Früchte, gewaschen oder geschält).

Figur 1



Alarmierung der Bevölkerung in Friedenszeiten Alarme de la population en temps de paix Allarme per la popolazione in tempo di pace

Sirenenzeichen und ihre Bedeutung
Signaux par sirènes et leur signification
Segnali d'allarme con sirene e loro significato

Verhalten
Comportement
Comportamento

Allgemeiner Alarm
Alarme générale
Allarme generale

Radio hören
Ecouter la radio
Ascoltare la radio



An- und abschwellender Heulton von 1 Minute
Ankündigung von Verhaltensanweisungen

Anweisungen der Behörden befolgen, die über Radio, Telefonrundspruch oder durch weitere Informationsmittel verbreitet werden. Nachbarn informieren.

Son oscillant continu durant 1 minute
Annonce la diffusion d'instructions sur le comportement

Se conformer aux directives des autorités diffusées par radio, télédiffusion ou par d'autres moyen d'information. Informer les voisins.

Ululo modulato della durata di 1 minuto
Annuncio che saranno diffuse istruzioni di comportamento

Attenersi alle istruzioni delle autorità diffuse per radio, telediffusione o con altri mezzi d'informazione. Informare i vicini.

Strahlenalarm
Alarme radioactivité
Allarme radioattività

Schutz suchen
Se mettre à l'abri
Cercare riparo



Unterbrochener an- und abschwellender Heulton von 2 Minuten
Gefährdung steht unmittelbar bevor

Türen und Fenster schliessen. Sofort nächstgelegenen Schutzraum oder Keller aufsuchen. Transistorradio mitnehmen und weitere Anweisungen befolgen.

Séquences de sons oscillants durant 2 minutes
Danger imminent

Fermer portes et fenêtres. Gagner immédiatement l'abri ou la cave la plus proche. Emporter un transistor et suivre les instructions qui y seront données.

Sequenze di ululi modulati della durata di 2 minuti
Pericolo imminente

Chiudere porte e finestre. Raggiungere immediatamente il rifugio o scantinato più vicino. Portare con sé la radio a transistori ed osservare le istruzioni diffuse ulteriormente.

Wasseralarm
Alarme eau
Allarme acqua

Gefährdetes Gebiet verlassen
Quitter la zone dangereuse
Abbandonare la zona pericolosa



Unterbrochener tiefer Ton von 6 Minuten
Überflutungsgefahr in der Nahzone der Talsperren

Überflutungsgefährdetes Gebiet sofort verlassen; örtliche Merkblätter oder Anweisungen beachten.

Séquences de sons graves durant 6 minutes
Danger d'inondation dans la zone rapprochée des barrages

Quitter immédiatement la zone menacée d'inondation; se conformer aux instructions ou prescriptions locales.

Sequenze di suoni gravi della durata di 6 minuti
Pericolo d'inondazione nella zona vicina agli sbarramenti

Abbandonare immediatamente la zona minacciata d'inondazione; attenersi alle comunicazioni o istruzioni locali impartite.

Ende der Gefahr:
Fin du danger:
Fine del pericolo:

Bekanntgabe über Radio
Annonce par radio
Annunciata per radio

Weitere Sirenenzeichen und Anweisungen der Kantone und Gemeinden bleiben vorbehalten. - Für den aktiven Dienst wird ein besonderes Merkblatt erlassen.

D'autres signaux et instructions émis par les cantons et les communes sont réservés. - Des instructions spéciales seront publiées pour le service actif.

Restano riservati ulteriori segnali d'allarme e le istruzioni complementari emanati dai cantoni e comuni. - Per il servizio attivo

Autorenverzeichnis:

Univ.Prof. Dr. Hans FRISCHAUF

I. Med. Univ.-Klinik, Lazarettgasse 14, A-1090 Wien

Dipl.Ing. Dr. Wolfgang JESCHIK

Abteilung für Sicherheit von Kernanlagen

CH-5303 Würenlingen

Dr. Gerald KAMELANDER

Institut für Reaktorsicherheit, Österreichisches

Forschungszentrum Seibersdorf, A-2444 Seibersdorf

Dipl.Ing. Paul KÁRACSON

Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung R/1

Operngasse 21, A-1040 Wien

Min.Rat Dipl.Ing. Rüdiger SCHULTZ:

Bundesministerium für Bauten und Technik

Stubenring 1, A-1011 Wien

Univ.Prof.Dr. Erich TSCHIRF

Atominstitut der Österreichischen Universitäten

Schüttelstr. 115, A-1020 Wien

Dr. Manfred TSCHURLOVITS

Atominstitut der Österreichischen Universitäten

Schüttelstr. 115, A-1020 Wien



ÖVS-Mitteilung 1/1983

ÖVS-Tagungsbericht 1982

Herausgeber und Verleger: Österreichischer Verband für Strahlenschutz,
Lenaugasse 10, A-1080 Wien

Nach dem Pressegesetz verantwortlich: Univ.Prof.Dr.E.TSCHIRF, Dr.A.HEFNER

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor.