HAMFU
HISTORY

# KRIEG IM AETHER

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1987/1988
Leitung:
Bundesamt für Übermittlungstruppen
Divisionär J. Biedermann, Waffenchef der Übermittlungstruppen

# Strahlenwaffen

Referent: J. Gut, Prof. Dr. , Dipl. Phys. ETH

Diese Vorlesung wurde durch die Stiftung HAMFU digitalisiert und als
PDF Dokument für www.hamfu.ch aufbereitet.

# STRAHLENWAFFEN

J. Gut, Prof., Dr.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung

2. Was ist Strahlung?

3. Strahlenwaffen
   3.1. Nukleare Strahlenwaffen
      3.1.1. Neutronenwaffen
      3.1.2. NEMP-Waffen
   3.2. Nichtnukleare Strahlenwaffen
      3.2.1. Laserwaffen
      3.2.2. Partikelstrahlenwaffen

4. Zusammenfassung

5. Folgerungen

6. Literatur

Adresse des Autors:

Jakob Gut, Prof.,Dr.,Dipl.Phys.ETH
Institut für militärische Sicherheitstechnik
der Eidg. Technischen Hochschule ETHZ
Auf der Mauer 2

8001 Zürich

## 1. EINLEITUNG

Vor 30 Jahren verfasste der bekannte Raketentechniker, Luft- und Raumfahrtpionier Eugen Sänger ein Buch mit dem Titel: "Raumfahrt: Technische Ueberwindung des Krieges" (Hamburg 1958). Sänger, kurz zuvor zum Präsidenten der Deutschen Gesellschaft für Raketentechnik und Raumfahrt gewählt und zum Honorarprofessor an die Technische Hochschule Stuttgart berufen, sah als einer der ersten die ungeahnten Einsatzmöglichkeiten von zukünftigen "Strahlenwaffen" voraus. Er schrieb:

"Bei der mechanischen Steifigkeit der Flugbahnen materieller Körper ist die letzte Annäherung an einen zunächst ungenau lokalisierten Angreifer mit zunehmender Fluggeschwindigkeit immer weniger möglich. Um dieses Trägheitshindernis einer erfolgreichen Luft- und (Welt)-Raumverteidigung auszuschalten, bleibt schliesslich kein anderer Weg, als die Zerstörungsenergie nicht mehr in Form materieller, also sehr träger Massen,vom Erdboden gegen den fliegenden Gegner zu senden, sondern sie in immaterieller Form als reine Energie diesen Weg gehen zu lassen, also in Form seiner Energiestrahlung, die wegen ihrer millionenfach kleineren Trägheit und höheren Geschwindigkeit jedem materiellen Körper ohne Schwierigkeiten zu folgen und ihn zu erreichen vermag. Es wird daher erwogen, von der Erdoberfläche ausgehende Energiestrahlen scheinwerferartig gegen alle Luft- und Raum-Waffen zu richten und sie damit in Sekundenbruchteilen zu zerstören."

Während die technischen Möglichkeiten für Strahlenwaffen in den 50er und 60er Jahren noch keineswegs gegeben waren - mit Ausnahme der Nuklearwaffen, auf die besonders einzugehen sein wird - sieht die Lage am Ende der 80er Jahre wesentlich anders aus. Es scheint, dass ein alter Traum vieler Militärs, ihre Armeen mit Strahlenwaffen auszurüsten, in absehbarer Zeit verwirklicht werden kann. Denn im ausklingenden 20. Jahrhundert stehen die Grundlagen und Technologien für verschiedene Kategorien von Strahlenwaffen bereits weitgehend zur Verfügung.

Seitdem die USA ihr grosses Forschungsprogramm zur Abwehr ballistischer Raketen SDI (Strategic Defense Initiative = Strategische Verteidigungsinitiative) in Angriff genommen haben, werden Strahlenwaffen auch zunehmend in der Oeffentlichkeit diskutiert. Die grossen Anstrengungen, die in der zivilen und militärischen Plasma- und Fusionsforschung in den letzten 10 - 15 Jahren unternommen worden sind, haben die Entwicklung von Systemen gerichteter Energie in Form von LASERN und Teilchenstrahlen begünstigt. Auch die ständig fortschreitende Miniaturisierung in wichtigen Teilbereichen und die neueste Computertechnik sind dafür mitverantwortlich.

Aber auch die Kernwaffen sind nicht auf dem Stand der 50er Jahre stehen geblieben. Obschon die Strahlung, die von Nuklearexplosionen herrührt, schon immer von besonderer Bedeutung gewesen ist - die "Neutronenwaffe" soll als Beispiel erwähnt werden -, zeigen die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an Nuklearwaffen der 3. Generation, dass mit Wirkungscharakteristiken eigentlicher Strahlenwaffen zu rechnen ist: NEMP- und Mikrowellenwaffe, nuklearer X-RASER ("Röntgenlaser"), Teilchenstrahlenwaffe usw.

Die Einsatzmöglichkeiten für Strahlenwaffen werden allerdings kaum auf den Weltraum beschränkt bleiben. Es steht vielmehr zu erwarten, dass aus Strahlenwaffen neue Waffenkategorien für den Krieg zu Land und in der Luft entstehen werden. Sich mit ihnen zu befassen, die Risiken frühzeitig zu beurteilen und mögliche Konsequenzen für Abwehr- und Schutzmassnahmen rechtzeitig zu ziehen, ist angesichts der neuartigen Bedrohungen angezeigt.

## 2. WAS IST STRAHLUNG?

Physikalisch versteht man unter dem Begriff "Strahlung" allgemein die von einer Strahlungsquelle ausgehende, gerichtete, räumliche und zeitliche Ausbreitung von Energie, in Form von Wellen oder Teilchen.

Die wichtigsten Grössen sind:

Strahlungsenergie $Q$ $[Q] = Ws$ (Joule)

Strahlungsleistung $\Phi$ $[\Phi] = W$

Strahlungsintensität $\varphi$ $[\varphi] = W \cdot m^{-2}$
(auch Bestrahlungsstärke oder Strahlungsflussdichte genannt)

Strahlungsfluenz $\Psi$ $[\Psi] = Ws \cdot m^{-2}$
(auch Bestrahlung genannt)

Die elektromagnetische Strahlung ist eine sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitende Wellenstrahlung, deren Wellenlängen (Frequenzen) in einem weiten Bereich variieren können. Sie lässt sich aber auch als Strom von Lichtquanten (Photonen) mit entsprechenden Energien beschreiben. (Fig. 1)

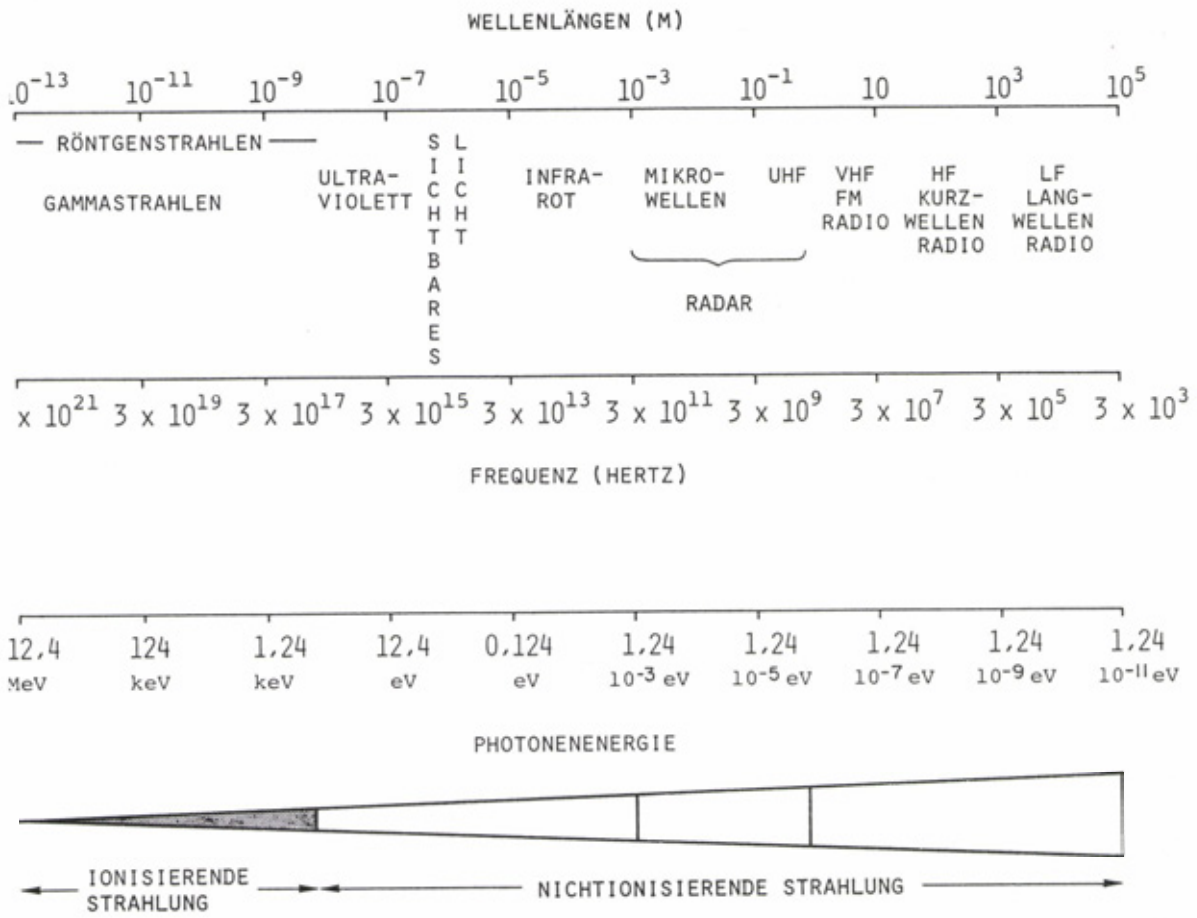



Fig. 1 Wellenlängen, Frequenzen und Photonenenergien elektromagnetischer Strahlung

Als Teilchen-, Korpuskular- oder Partikelstrahlung wird ein gerichteter Strom von geladenen (zB Elektronen, Protonen, Ionen) oder ungeladenen Teilchen (zB Neutronen, Wasserstoffatomen) bezeichnet, die sich mit hohen Geschwindigkeiten, die aber stets kleiner als die Lichtgeschwindigkeit sind, ausbreiten.

Für die Ausbreitung der Strahlung gelten je nach Strahlungsart und Fortpflanzungsmedium verschiedene Ausbreitungs- und Wechselwirkungsgesetze, die im allgemeinen zu einer Schwächung der Strahlungsintensität führen. Schliesslich trifft die Strahlung auf das Ziel, wobei wiederum je nach materieller Beschaffenheit dieses Objektes verschiedene Interaktionen möglich sind. Die Bestrahlung soll so stark sein, dass im Falle der Anwendung von Strahlung als Waffe diese Wechselwirkungen zur Beschädigung oder Zerstörung des betroffenen Objektes führen.

## 3. STRAHLENWAFFEN

Es ist sinnvoll, eine Unterteilung in nukleare und nichtnukleare Strahlenwaffen vorzunehmen. Obschon alle Nuklearwaffen im wesentlichen Strahlenwaffen sind, ist erst seit der öffentlichen Kontroverse in Europa um die sog. "Neutronenbombe" Mitte der 70er Jahre diese Eigenschaft "entdeckt" und auch sofort gebührend verurteilt worden. Dabei hatte man übersehen, dass bereits die in den 50er und 60er Jahren in Europa eingeführten taktischen Nuklearwaffen geringen Energieaequivalents bei der Explosion vor allem durch ihre starke primäre Kernstrahlung auf die betroffenen Zielobjekte eingewirkt hätten, ein Effekt, der mit kleiner werdendem Energieaequivalent (<1 Kilotonne) noch ausgeprägter in Erscheinung tritt und der bei der Nuklearwaffe mit verstärkter Strahlung ("Neutronenwaffe") durch konstruktive Massnahmen bewusst beabsichtigt wird.

Als Beispiele von nuklearen und nichtnuklearen Strahlenwaffen, die in verschiedener Hinsicht vergleichbar sind, sollen die Neutronen- und NEMP-Waffe bzw die Teilchenstrahlenwaffe und der LASER dienen (Fig. 2)

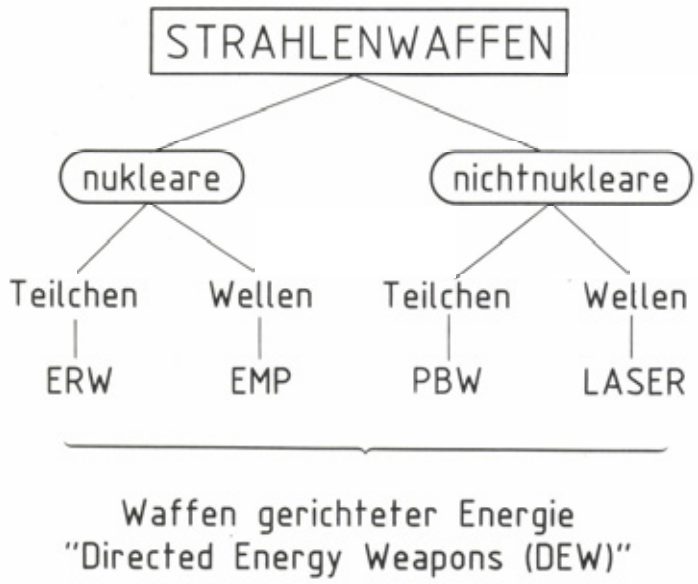



Fig. 2 Beispiele für nukleare und nichtnukleare Strahlenwaffen
ERW: Enhanced Radiation Weapon (Neutronenwaffe)
EMP: Electro-Magnetic Pulse
PBW: Particle Beam Weapon (Teilchenstrahlenwaffe)

Diese Waffen bezeichnet man gesamthaft auch als nukleare bzw nichtnukleare Waffen gerichteter Energie (DEW = Directed Energy Weapons), wobei der "Ausrichtungsgrad" der Energie bei nichtnuklearen Strahlenwaffen vorderhand wesentlich ausgeprägter ist als bei nuklearen. Die Entwicklung von Nuklearwaffen der 3. Generation eröffnet aber in dieser Hinsicht ebenfalls neue Dimensionen.

## 1 NUKLEARE STRAHLENWAFFEN

### 1.1 NEUTRONENWAFFEN

Die Neutronenwaffe oder, wie sie physikalisch präziser als "Waffe mit verstärkter Strahlung und vermindertem Luftstoss" (Enhanced Radiation/Reduced Blast Weapon) bezeichnet wird, ist eine Entwicklung aus der Linie der Nuklearwaffen der 2. Generation. Während die Waffen der 1. Generation reine Kernspaltungswaffen darstellten, werden die Waffen der 2. Generation lediglich durch einen Kernspaltungssatz gezündet, setzen aber den Hauptteil der Energie in dem damit in Gang gesetzten Kernverschmelzungsprozess (Fusion) von leichten Kernen, vor allem Wasserstoffisotopen (Deuterium, Tritium) frei. Damit wurde es möglich, selektivere, d.h. vorwiegend durch Kernstrahlung (schnelle Neutronen, Gammastrahlung) wirkende Nuklearwaffen zu konzipieren. Die Vorstellung, dass im Ernstfall Besatzungen von angreifenden, gepanzerten und mechanisierten Verbänden durch hohe Strahlendosen von Neutronenwaffen auf dem Gefechtsfeld neutralisiert werden könnten, war und ist für viele Kreise revolutionär und passt nicht in das bekannte Bild der Wirkungen von Nuklearwaffen. Mehr als zehn Jahre vor der Produktionsaufnahme durch die USA war sie bereits im Konzept eines strategischen Waffensystems aufgetaucht: Die Raketen-Abwehrrakete "Sprint" sollte mit ihrem Neutronensprengkopf den Sprengkopf der gegnerischen Interkontinentalrakete durch seinen hochintensiven Neutronenimpuls in grosser Höhe unschädlich machen. (Fig.3)

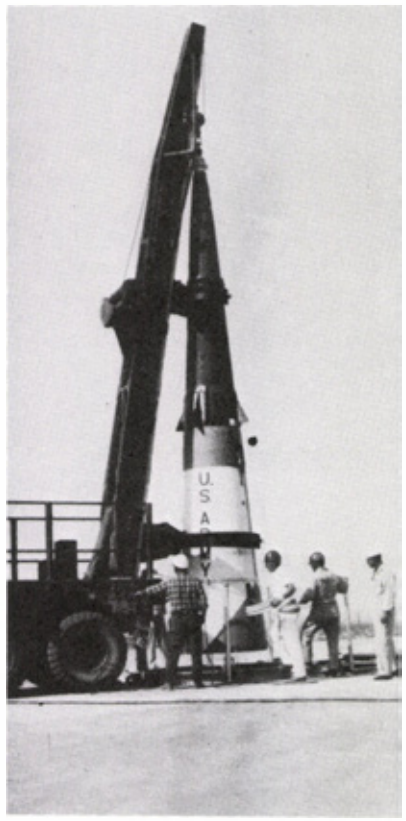



Fig. 3 Antiballistische Abwehrrakete "Sprint". Der nukleare Sprengkopf von wenigen kt war geeignet, durch Neutronen den Sprengkopf der gegnerischen Rakete in der Atmosphäre zu zerstören.

Die Energie im Fusionsteil einer Neutronenwaffe wird gemäss Schema in Fig. 4 freigesetzt.

| | | |
|---|---|---|
| Deuteriumkern + Tritiumkern ⟶ | Heliumkern + | Schnelles Neutron |
| ($T > 50 \cdot 10^6$ K) | $\bar{E}_{Kin} \cong 3{,}5$ MeV | $\bar{E}_{Kin} \cong 14{,}1$ MeV |

Kinetische Energie der Neutronen 80,1 %
Kinetische Energie der Heliumkerne ($\alpha$-Teilchen) 19,9 %
} der Gesamtenergie

Pro Kernverschmelzungsprozess werden $2{,}8 \cdot 10^{-12}$ Joule (17,6 MeV) freigesetzt.
$\sim 1{,}5 \cdot 10^{24}$ Kernverschmelzungsprozesse ergeben 1 kt Energieaequivalent.

Fig. 4 Verschmelzungsprozess im Fusionsteil einer Neutronenwaffe (Nuklearwaffe der 2. Generation). Die Zündung erfolgt durch einen Kernspaltungssatz.

Die Primärstrahlung als Hauptwaffenwirkung der Enhanced Radiation Weapon (ERW) setzt sich aber nicht ausschliesslich aus Neutronen, sondern aus mehreren Komponenten zusammen. Die 4 Komponenten der Primärstrahlung einer Neutronenwaffe heutiger Konstruktion sind:

-Die schnellen Neutronen, die bei den Fusionsprozessen und bei den Spaltungen im Fissionsteil (Zünder) erzeugt werden.

-Harte, neutroneninduzierte Gammastrahlung, die in Wechselwirkungsprozessen der Neutronen mit Luftmolekülen entsteht.

-Prompte Gammastrahlung, die im Kernspaltungsteil frei wird.

-Sekundäre Gammastrahlung der sehr kurzlebigen Isotopen im Spaltproduktgemisch, das bei der Kernspaltung im Fissionsteil entsteht.

Den Hauptanteil zur kumulierten Strahlendosis tragen die Neutronen sowie die neutroneninduzierte Gammastrahlung bei. Der Beitrag der Neutronen überwiegt dabei im gesamten militärisch bedeutsamen Dosisbereich. (Fig. 5)

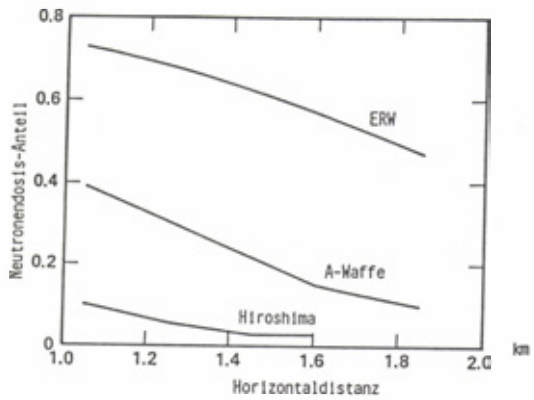



Fig. 5 Vergleich der Neutronendosis-Anteile in Funktion der Horizontaldistanz für 3 verschiedene Nuklearwaffentypen:
Hiroshima (~15 kt, reine Spaltung),
Taktische A-Waffe (~1 kt),
Neutronenwaffe (ERW, ~1 kt).

Die Gesamtdosis im betroffenen Gebiet ist von der Sprenghöhe der Neutronenwaffe nur wenig abhängig, wohl aber die Luftstoss- und thermische Belastung. Mit der Wahl der Höhe des Sprengpunktes lassen sich bei der Neutronenwaffe die Kollateralschäden (unerwünschte Begleitschäden beim Einsatz) stark reduzieren, was den Charakter der Neutronenwaffe als nukleare Strahlenwaffe unterstreicht (Fig. 6).

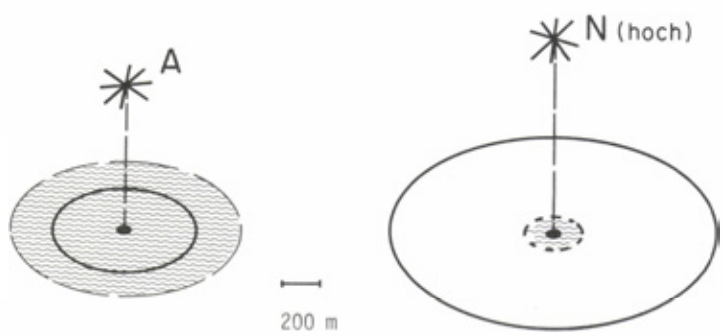



Fig. 6 Unterschiede im Wirkungsbereich von herkömmlichen taktischen A-Waffen (A) und Neutronenwaffen (N).
Ausgezogene Linie: Wirkungsbereich der primären Kernstrahlung (Neutronen und Gammastrahlung) für Kampfunfähigkeit von Truppen in Panzern.
Schraffierte Fläche: Wirkungsbereich des Luftstosses (Druck) für Beschädigung von Bauten.
Durch Anheben des Sprengpunktes lässt sich bei der Neutronenwaffe (N hoch) der Bereich der Kollateralschäden stark reduzieren, ohne dass der Wirkungsbereich der Strahlung wesentlich vermindert wird.

Infolge des sehr hohen Neutronenflusses sind Einwirkungen auf elektronische Komponenten, die nicht gehärtet sind, eine weitere gefährliche Waffenwirkung von Neutronenwaffen. In militärischen Systemen wird bekanntlich in zunehmendem Masse von elektronischen Komponenten Gebrauch gemacht. Halbleiter sind aber durch transiente Strahlungseffekte stark gefährdet. Werte von mehr als $10^{12}$ n/cm² als kritische Schadengrenze treten bei Neutronenwaffen-Explosionen in der Troposphäre bis in Distanzen von über 1 km von der Explosion auf. Grosse Anstrengungen sind bereits unternommen worden, um gegen Kernstrahlung gehärtete Komponenten, insbesondere Chips, zu entwickeln.

Eine zusammengefasste Uebersicht über die wichtigsten Strahlenwirkungsdaten von Neutronenwaffen ist in Figur 7 dargestellt.

| Horizontal (*)- bzw. Effektivdistanzen | | 100 m | 500 m | 1000 m | 1500 m |
|---|---|---|---|---|---|
| PRIMAERSTRAHLUNGS- DOSIS (Gy) | 0,8 kT | > 2000 (*) | 300 (*) | 18 (*) | 1,1 (*) |
| | 2,0 kT | > 9000 (*) | 1500 (*) | 80 (*) | 4,5 (*) |
| NEUTRONENFLUENZ FUER TRANSIENT RADIATION EFFECTS ON ELECTRONICS (TREE)($n \cdot cm^{-2}$) | 0,8 kT | $5{,}5 \cdot 10^{13}$ | $8{,}4 \cdot 10^{12}$ | $3{,}9 \cdot 10^{11}$ | $< 10^{12}$ |
| | 2,0 kT | $1{,}7 \cdot 10^{14}$ | $2{,}5 \cdot 10^{13}$ | $1{,}2 \cdot 10^{12}$ | $< 10^{12}$ |

Fig. 7 Uebersicht über die wichtigsten Strahlenwirkungsdaten von Neutronenwaffen (0,8 bzw. 2 kT). Berechnete Werte (1 Gy = 100 rad).

Zur Frage des Schutzes vor Strahlenwirkung von Neutronenwaffen sei lediglich auf den Umstand hingewiesen, dass zur Abschirmung von hochenergetischen Neutronen und Gammastrahlen Materialien, wie sie zum Bau von Schutzräumen und Unterständen verwendet werden, um Grössenordnungen wirksamer sind als die Panzerungen von Panzern, Schützenpanzern, Panzerhaubitzen und anderen gepanzerten Fahrzeugen.

Die Hauptgründe dafür liegen in der Physik der Neutronenwechselwirkungen, die einen relativ grossen materiellen Aufwand zur wirksamen Reduktion des Neutronenflusses nicht umgehen lassen, und der konstruktiven Beschränkung beim Bau von Kampffahrzeugen. Beträgt der mittlere Schutzfaktor eines Kampfpanzers gegen Neutronen nicht mehr als etwa 2 bis 8, so liegen diese Werte für Unterstände und Schutzbauten über etwa 400 bis zu einigen 10'000. Damit wird nochmals deutlich, gegen welche Ziele Neutronenwaffen besonders wirksam eingesetzt werden können, und dass eindeutige Züge einer Strahlenwaffe festgestellt werden müssen. (Fig. 8)

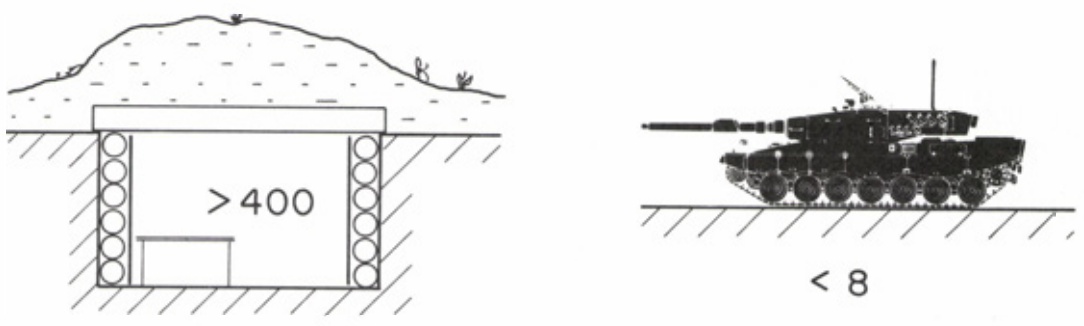



Fig. 8 Vergleich der Grössenordnungen von Schutzfaktoren gegen Neutronenstrahlung bei feldmässigen, überdeckten Unterständen und Kampfpanzern.

### 3.1.2 NEMP-WAFFEN

Ueber den Nuklearen Elektromagnetischen Impuls (NEMP) ist schon mehrmals im Rahmen der Reihe "Krieg im Aether" vorgetragen worden. In der XXIV. Folge der Berichte (1985) wurden insbesondere die Bedrohungselemente und Berechnungsmethoden für den NEMP von Nuklearexplosionen in grosser Höhe dargestellt.

Zusammenfassend lassen sich die wichtigsten Angaben zum "NEMP-Hoch", d.h. zum NEMP von Explosionen in grosser Höhe (englisch HAEMP = High Altitude EMP oder HEMP abgekürzt), wie folgt wiedergeben:

| | |
|---|---|
| Radiale Ausdehnung der Quellenregion (Depositionszone) | 1 MT / 10 MT<br>Sp 100 km: 470 km / 620 km<br>Sp 200 km: 700 km / 1100 km |
| Wirkungsradius auf der Erde | $R \cong 1100 \cdot (\frac{HOB}{100})^{1/2}$ km<br>(HOB = Sprenghöhe in km) |
| Felder in der Strahlungszone (Erdoberfläche) | stark<br>mittlerer Wert einige 10 kV/m<br>über ganzem Strahlungsgebiet |
| Formel für Standardimpuls | $E(t) = 5{,}25 \cdot 10^4 [e^{-4 \cdot 10^6 t} - e^{-4{,}76 \cdot 10^8 t}]$<br>$[E] = V/m \quad [t] = s$<br>$H(t) = E(t)/377\,\Omega \qquad [H] = A/m$ |
| Anstiegszeiten (10%... 90%) | Nähe Nullpunkt: 2-5 ns<br>Randzone: $>10$ ns<br>Hauptgebiet: $<10$ ns |
| Hauptfrequenzbereiche | 10 kHz... x100 MHz |
| Energiedichte (Mittel) auf der beaufschlagten Erdoberfläche | $\sim 1$ Joule $\cdot$ $m^{-2}$ |

Fig. 9 Hauptmerkmale des HEMP (Elektromagnetischer Impuls von Nuklearexplosionen in grosser Höhe) – Standardimpuls.

Aus Figur 9 geht hervor, dass es sich beim NEMP um einen sehr rasch ansteigenden elektromagnetischen Impuls hoher Feldstärke im Radiofrequenzbereich handelt, der auf einer enorm grossen Fläche auf dem Erdboden gleichzeitig auftrifft. Da bei Explosionshöhen von mehr als 100 km keine andern Waffenwirkungen als der NEMP die Erdoberfläche erreichen, muss die Nuklearwaffe eindeutig als Strahlenwaffe betrachtet werden. Sie ist sogar die typische nukleare Strahlenwaffe im heutigen Nuklearsenal.

Der komplizierte Mechanismus, der zur Erzeugung des HEMP führt, bewirkt, dass aus der ursprünglichen Punktquelle des explodierenden Sprengkopfes eine flächenhafte Strahlenquelle in Form der Gamma-Depositionsschicht in ca. 20-40 km Höhe gebildet wird, die aber infolge der Wechselwirkung des Erdmagnetfeldes mit den Comptonelektronen schliesslich in eine Quelle gerichteter Strahlung transformiert wird, nämlich in den gegen die Erdoberfläche gerichteten elektromagnetischen Impuls (EMP). In diesem Sinn erzeugt die HEMP-Waffe "gerichtete Energie" und stellt somit eine Strahlenwaffe dar (Fig.10).

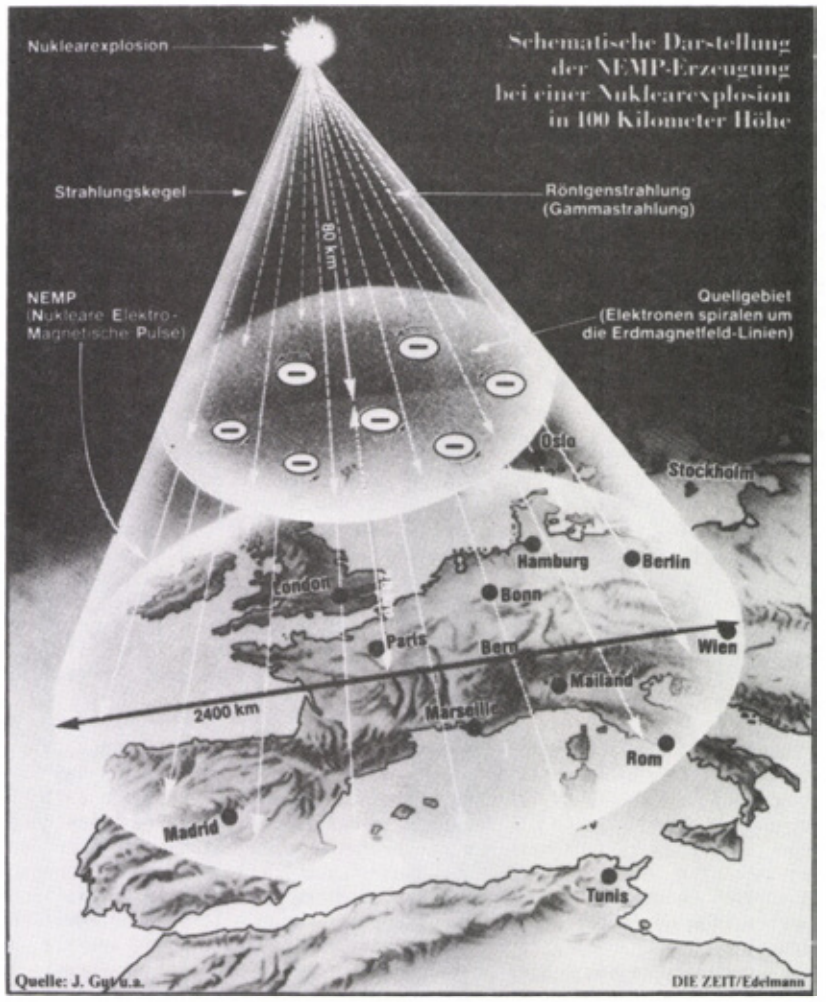



Fig. 10 Schematische Darstellung der NEMP-Erzeugung bei einer Nuklearexplosion in 100 km Höhe.

Schon vor mehr als 10 Jahren hat der ehemalige NATO-Oberkommandierende und spätere Aussenminister der USA, General Alexander Haig, die westlichen Führungspersönlichkeiten eindringlich vor den Gefahren des NEMP gewarnt. Ins gleiche Horn hat auch immer wieder Edward Teller, eine der einflussreichsten Persönlichkeiten bei der Promotion von Nuklearsprengkörpern zu Defensivzwecken, gestossen. In der Tat ist es heute technisch möglich, mit Raketen Nuklearladungen in grosse Höhen an genau berechnete Positionen zu transportieren, um möglichst wirksame HEMP-Schläge auszulösen. Es ist deshalb verständlich, dass im Rahmen der Weiterentwicklung der nuklearen Waffen - das Programm der Nuklearwaffen der 3. Generation - die NEMP-Strahlenwaffe einen wichtigen Platz einnimmt.

Im Gegensatz zur Neutronenwaffe ist das Hauptziel einer HEMP-Waffe nicht die Vernichtung lebender Organismen, sondern die Zerstörung oder Lahmlegung von wichtigen Systemen, die mit empfindlicher Elektronik ausgerüstet sind. Solche Systeme sind nicht schwer zu identifizieren, z B nationale Stromerzeugungs-, -übertragungs- und -verteilsysteme, Telefonsysteme, Führungs- und Verbindungssysteme der Armee (Kommunikationssysteme), Computernetzwerke ziviler und militärischer Natur, elektrische Transportsysteme, usw.

Es ist erfreulich, dass der NEMP-Bedrohung auch in unserem Land seit längerer Zeit grosse Beachtung geschenkt wird. Die Anstrengungen zum Schutze der als wichtig erkannten Systeme und Objekte vor den NEMP-Einwirkungen dürfen jedoch nicht nachlassen, denn die Entwicklung zu noch "härteren" elektromagnetischen Impulsen ist im Gange. Ausserdem müssen alle EMP-Effekte, worunter auch der bisher stiefmütterlich behandelte magneto-hydrodynamische EMP (MHDEMP) fällt, berücksichtigt werden. Dies zwingt zur Ueberprüfung entsprechender Schutzkonzepte. Auch bleibt zu bedenken, dass der Einsatz von nuklearen Strahlenwaffen im Weltraum möglicherweise die niedrigste aller nuklearen Hemmschwellen aufweist, die von Nuklearmächten im Ernstfall überschritten werden müssten.

## .2 NICHTNUKLEARE STRAHLENWAFFEN

### .2.1 LASERWAFFEN

Die Idee einer Strahlenwaffe, die Lichtstrahlen zu zerstörerischen Zwecken auf ein gegnerisches Ziel fokussiert, ist wesentlich älter als die Existenz des Lasers. So soll Archimedes anlässlich der Belagerung der Stadt Syrakus durch die Römer im Jahr 212 v. Chr. die Strahlung der Sonne dazu benutzt haben, die römischen Schiffe im Hafen in Brand zu stecken. Indem er die Einwohner aufforderte, mit polierten Spiegeln das Sonnenlicht auf die Segel der Schiffe zu fokussieren, erreichte er deren Erhitzung, bis sie in Brand gerieten. Das Schicksal der Stadt konnte allerdings nicht mehr abgewendet werden. Sie fiel schliesslich doch in römische Hände. Archimedes muss aber bereits damals mit den wichtigsten Problemen, die auch für moderne Laserwaffen bestehen, konfrontiert gewesen sein, nämlich einerseits genügend grosse Spiegel zur Verfügung zu haben und anderseits die fokussierten Lichtstrahlen genügend lange auf dem (beweglichen) Ziel halten zu können.

Die "Hitzestrahlen", mit denen die Marskrieger in H.G. Wells "Krieg der Welten" (1898) die Erde überfallen, haben frappante Aehnlichkeiten mit den Wirkungen von modernen Infrarotlasern. Liest sich die damalige Science Fiction nicht wie die Beschreibung einer Laserwaffe aus heutigen militärischen Projekten? Wells schrieb u.a.: "...Diese intensive Hitze richten sie in einer parallelen Strahlung gegen jedes von ihnen ausgewählte Objekt mittels eines polierten Parabolspiegels unbekannter Zusammensetzung, ähnlich wie der Parabolspiegel eines Leuchtturms einen Lichtstrahl wirft. ... Hitze und unsichtbares, anstelle von sichtbarem Licht. Was immer auch brennbar ist, entzündet sich bei seinem Auftreffen, Blei fliesst wie Wasser. Es macht Eisen weich. Es bricht und schmilzt Glas. Wenn es auf Wasser auftrifft, explodiert dieses zu Dampf..."

Science Fiction-Autoren der jüngeren Geschichte haben sich mit besonderer Vorliebe der Strahlenwaffen bedient und sie dabei vielfach als "Todesstrahlen" bezeichnet. Auch der Begriff des Lasers erscheint immer häufiger in solchen Publikationen, wobei jedoch die tatsächlichen Leistungen und Wirkungen von Laserwaffen noch ziemlich weit entfernt von denjenigen sein dürften, die in dieser Kategorie von Literatur eingesetzt werden.

Die gewaltigen Forschungs- und Entwicklungsprogramme für eine Raketenabwehr im Raum, wie sie von den beiden Supermächten seit Jahren intensiv betrieben werden, haben schliesslich den Strahlenwaffen zu grosser Prominenz verholfen. Es ist unbestritten, dass die zum grössten Teil hinter verschlossenen Türen durchgeführten Projekte die Anwendungen des Lasers als Waffe stark gefördert haben. Klar geworden ist aber auch - und hier hat die begrüssenswerte Studie der American Physical Society "Science and Technology of Directed Energy Weapons" vom April vergangenen Jahres grosse Verdienste erworben - welch enorme Probleme auf dem Weg zu einem Abwehrsystem ballistischer Interkontinentalraketen mit Waffen gerichteter Energie, also Laser- und Teilchenstrahlenwaffen, (DEW = Directed Energy Weapons) noch bestehen. Es zeigt sich aber bereits heute, dass aus dem amerikanischen SDI-Programm wie auch aus seinem sowjetischen Pendant neue Waffentypen hervorgehen werden, deren Einsatzgebiet nicht ausschliesslich der Weltraum ist, sondern der Raum sein wird, wo sich militärische Auseinandersetzungen zu Land, zu Wasser und in der Luft abspielen. Damit müssen Strahlenwaffen auch für Nicht-Weltraummächte zu einem hochinteressanten Thema werden, mit dem sich heute und in den kommenden Jahren Wissenschaftler, Militärexperten und Rüstungsfachleute, nicht zuletzt aber auch Politiker, sehr ernsthaft zu befassen haben.

Nachdem das theoretische Fundament für die stimulierte Emission von Strahlung zu Beginn dieses Jahrhunderts von Einstein gelegt worden war, dauerte es noch bis zu den 50er und anfangs 60er Jahren, bis sowohl in den USA wie in der Sowjetunion die ersten MASER (Microwave-) und LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) gebaut werden konnten und funktionierten. Heute ist der Laser von vielen zivilen Anwendungen her bekannt, zB zur Materialbearbeitung, in der Medizin, in der Unterhaltungselektronik als CD-Spielgerät, als Laserdrucker, als Entfernungsmessgerät usw.

Die Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung geschieht in einem Generator und Verstärker für kohärente elektromagnetische Wellen im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Spektralbereich. Versuche mit nuklearexplosionsgetriebenen Lasern, die sogar im Röntgenspektralbereich emittieren, sind bekannt und stellen ein wichtiges Forschungsgebiet des SDI - Programms dar.

Das Laser-Licht zeichnet sich vor allem durch folgende Eigenschaften aus:

-Hoher Grad an räumlicher und zeitlicher Kohärenz

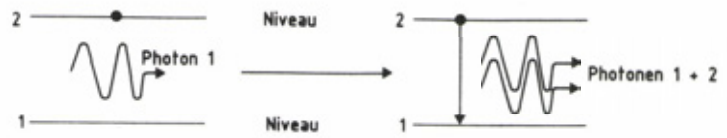
-Monochromasie

-Scharfe Bündelung

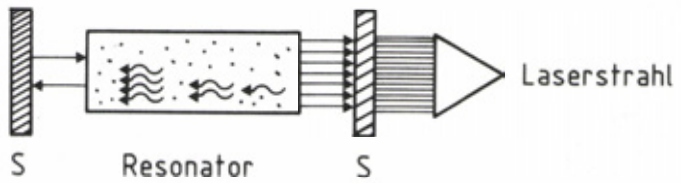
-Hohe Leistungsdichte

-Hohe Frequenzen.

LASER — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation




Durch geeignete Anregung (zB optisches Pumpen) wird eine Inversion der Besetzungsniveaus im laserfähigen Material erreicht. Photonen der "richtigen" Energie (Frequenz oder Wellenlänge) stimulieren diese Elektronen zum Niveausprung unter Emission von Photonen der genau gleichen Energie.




Im Resonator wird die Lichtstrahlung verstärkt, wobei die Photonen mehrmals zwischen den Spiegeln S hin- und herlaufen. Schliesslich kann ein paralleler Strahl von Photonen gleicher Energie ausgekoppelt werden.

Fig. 11 Schema der stimulierten Emission und Prinzipaufbau eines Lasers.

Als Materialien für Laser kommen Festkörper, Flüssigkeiten und Gase in Frage. Je nach Operationsmodus lassen sich Laser kontinuierlich oder gepulst betreiben. Nicht alle Laser eignen sich für Laserwaffen.

Ein Laser allein ergibt noch keine Waffe. Dazu sind verschiedene weitere Komponenten erforderlich, die zu einem System zusammengefasst werden. Die Auslegung des Systems hängt vor allem vom Einsatzzweck des Waffensystems, der Umgebung, in der der Laser wirken soll und vom Typ des verwendeten Lasers ab. Zu berücksichtigen ist, dass bei Strahlenwaffen

-das Ziel erfasst und verfolgt werden muss

-der Strahl sich durch die Luft ausbreiten muss (ausser bei weltraumgestützten Systemen mit Zielen im Weltraum)

-der Strahl auf das (bewegliche) Ziel gerichtet werden und über eine gewisse Zeit dort gehalten werden muss

-die Wechselwirkung mit dem Ziel unter Berücksichtigung von Härtungs- und Schutzmassnahmen zur Beschädigung oder Zerstörung führen soll

-unter Umständen verifiziert werden muss, ob das Ziel tatsächlich zerstört worden ist.

Im wesentlichen können 4 Subsysteme eines Laser-Waffensystems unterschieden werden (Fig. 12):

-Der Laser

-Das Zielerfassungssystem

-Das Strahlüberwachungssystem

-Das Waffen-Einsatzsystem.

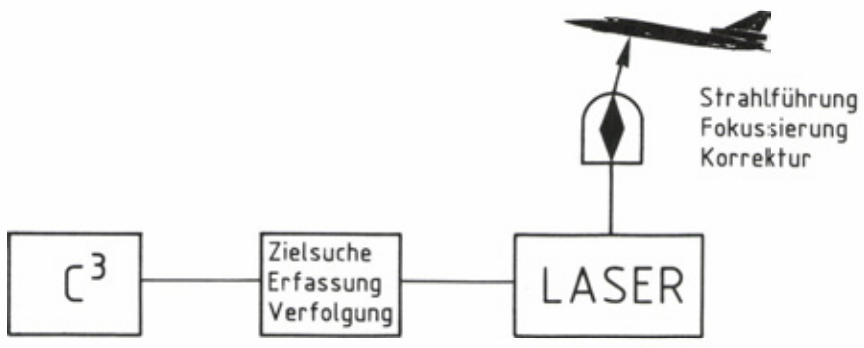



Fig. 12 Komponenten eines LASER-Waffensystems

Trifft der Laserstrahl auf das Zielobjekt auf, so treten verschiedene Arten von Wechselwirkungen, die von der Natur des Laserstrahls und dem Objekt selber abhängen, auf. Erst wenn Laserstrahlungsenergie auf das Objekt übertragen wird, kann dieses beschädigt oder zerstört werden. Jedes absorbierende, d.h. nichtreflektierende und nichttransparente Material kann durch Laser verdampft werden. Ein kontinuierlicher Laserstrahl muss während einiger Zeit auf dem Objekt verbleiben, um die getroffene Stelle aufheizen und schliesslich schmelzen und durchbohren zu können. Daraufhin können weitere sekundäre Wirkungen auftreten. Beispiele für erfolgreiche Lasereinsätze sind der Abschuss einer mit fast 900 km/h auf 500 m über Grund fliegenden unbemannten Drohne anlässlich eines Tests im November 1987 und die vor 2 Jahren durch Laserstrahlung induzierte Explosion einer Titan-Raketenhülle auf dem Testgelände von White Sands, New Mexico (USA), sowie die Zerstörung von TOW-Antitank-Lenkwaffen und Sidewinder-Luft-Luft-Lenkwaffen im Flug anlässlich verschiedener früherer Laserversuche. Mit gepulsten Laserstrahlen ist es eher möglich, die störende Atmosphäre zu durchdringen. Beim Auftreffen intensiver Strahlungsimpulse auf Materialien kann explosionsartig Materie verdampft werden, was zu einer Schockwelle führt, die durch das Zielobjekt hindurchlaufen und mechanische Zerstörung bewirken kann (Fig. 13).

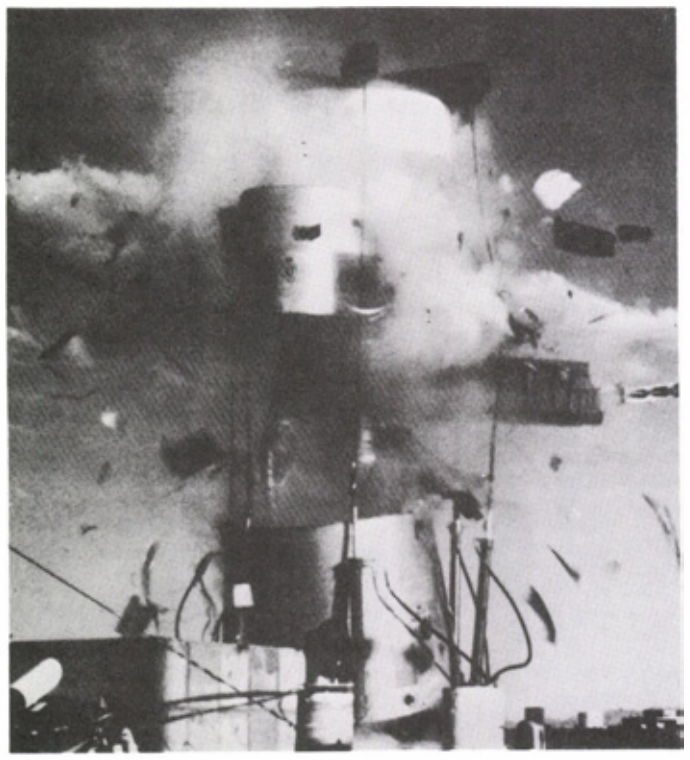


Fig. 13 Im September 1985 wurde bei einem statischen Test auf dem Versuchsgelände von White Sands (New Mexiko) die zweite Stufe einer TITAN-Rakete durch den MIRACL zerstört (MIRACL = Mid Infrared Advanced Chemical Laser). Dieser Laser arbeitet mit Deuterium-Fluorid bei einer Wellenlänge von 3,8 µm und weist eine Leistung von über 2 Megawatt auf.

Vielfach ist es nicht erforderlich, ein Ziel vollständig zu zerstören. So kann es durchaus genügen, empfindliche Sensoren von Waffensystemen zu blenden oder funktionsuntüchtig zu machen, um den gegnerischen Waffeneinsatz zu vereiteln. Grössenordnungsmässig sind zum Durchbohren einer Raketenhülle Bestrahlungswerte $\Psi$ von 1...20 kJ/cm$^2$, zur Zerstörung eines Wiedereintrittkörpers fünf bis zehnmal mehr erforderlich. Dagegen reicht eine Bestrahlung von lediglich $10^{-2}$ J/cm$^2$ für die Schädigung der Netzhaut des Auges bzw. hundertmal weniger für die Beeinträchtigung optischer Sensoren aus.

Angesichts der Bedeutung, die heute den verschiedenen Arten von Sensoren zukommt, scheint dies ein sehr wichtiger Angriffspunkt für Laserwaffen zu werden. Mitte der 70er Jahre hielten sich im Westen Behauptungen über die Blendung von amerikanischen Ueberwachungssatelliten durch russische Laser, die bei Saryshagan stationiert sind, über längere Zeit. Obschon sie eigentlich für Beunruhigung hätten sorgen müssen, scheinen auch die in jüngster Zeit gemeldeten und bestätigten Blendungen von Besatzungsmitgliedern westlicher Aufklärungsflugzeuge und -schiffe durch Lasergeräte auf sowjetischen Schiffen noch nicht überall in ihrer Tragweite erkannt worden zu sein. Ein von einem Laserstrahl getroffener und geblendeter Pilot fällt aus und ist nicht mehr in der Lage, sein Waffensystem zum Einsatz zu bringen, so hochentwickelt es auch sein möge.

Für die Anforderungen einer ballistischen Raketenabwehr stehen im Rahmen von SDI drei optische Lasersysteme im Vordergrund der Entwicklung: Chemische, Excimer- und Freie Elektron-Laser (FEL). Dazu kommt das bereits erwähnte Programm eines nukleargepumpten "Röntgenlasers".

Während der ALPHA genannte HF-Laser für ein raumgestütztes System angewendet werden könnte, ist der Free Electron Laser (FEL) für bodengestützte Applikationen denkbar. Die Energie eines Elektronenstrahls dient dabei zur Verstärkung kurzwelliger Strahlung durch stimulierte Emission, wobei die Umwandlung kinetischer Elektronenenergie in Strahlung in einem Magneten erfolgt. In diesem "Wiggler" oder "Undulator" genannten Gerät werden die Elektronen auf ihrem Weg durch ein räumlich periodisches, transversales Magnetfeld auf periodische Schwingungsbahnen gezwungen. Als besondere Eigenschaft des FEL ist die Veränderbarkeit seiner Wellenlänge zu nennen, was ihn für verschiedene Zwecke interessant macht. In den USA wurde 1976 das erste erfolgreiche FEL-Experiment durchgeführt, 10 Jahre später wurde eine Leistung von 1 MW bei einer Wellenlänge von 1 $\mu m$ bzw 1 GW bei 8mm erzielt. Eine Prototypanlage als Waffensystem ist für 1991 vorgesehen. Die Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen auf diesem zukunftsträchtigen Gebiet halten sich in West und Ost in etwa die Waage.

Der "Röntgenlaser" (XRASER) wird seit einiger Zeit im Rahmen des amerikanischen Programms zur Entwicklung von Nuklearwaffen der 3. Generation als erfolgversprechende Abwehrwaffe im Weltraum erforscht. Das Prinzip geht aus Fig. 14 hervor. In mehreren unterirdischen Versuchsexplosionen soll der Beweis für die Funktionsfähigkeit erbracht worden sein. Als Waffensystem würde der XRASER an Bord von Unterseebooten mitgeführt und erst im Moment eines entdeckten Raketenangriffs in den Weltraum geschossen. Ein Teil der nuklearen Explosionsenergie regt in einer besonderen Konstruktion zur stimulierten Röntgenstrahlungsemission an, die auf grosse Distanzen auf anfliegende Sprengköpfe gerichtet wird und sie mit grosser Zuverlässigkeit zerstört. Beim Einsatz des XRASER's wird aber das gesamte System selbst auch vernichtet, jedoch erst in dem Augenblick, da die zerstörerische Röntgenstrahlung bereits emittiert worden ist.

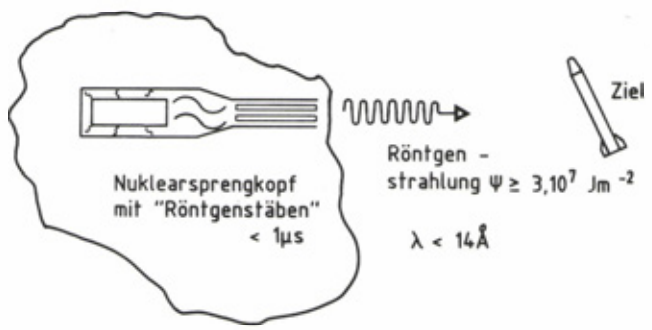



Fig. 14 Prinzip eines "Röntgenlasers"

### 3.2.2 PARTIKELSTRAHLENWAFFEN

Ebenfalls zum Programm der Strategischen Verteidigungsinitiative gehört die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Partikelstrahlen. Es ist bekannt, dass energiereiche Neutralteilchen und geladene Teilchenstrahlen hoher Geschwindigkeit bedeutende Energiemengen auf weit entfernte Zielobjekte aufbringen können. Diese Strahlen treten in starke Wechselwirkung mit materiellen Objekten und können demzufolge grosse zerstörerische Wirkungen haben.

Während vor dem SDI-Projekt in den USA relativ wenig Mittel in die Teilchenstrahlungswaffen-Forschung gesteckt wurden (Projekt "Seesaw" am Lawrence Livermore National Laboratory, Projekt "Chair Heritage" der US Navy), hat sich seither, nicht zuletzt unter dem Eindruck, dass die Sowjetunion auf diesem Gebiet einen grossen Vorsprung aufweisen soll, die Lage stark verändert. Bereits vor 10 Jahren wurde in einem RAND-Bericht geschrieben, dass die Sowjetunion grosse Anstrengungen auf dem Gebiet der gepulsten Systeme (pulsed power) unternehme, mit den vermuteten Zielen bei der kontrollierten Kernfusion und im Bereich der Militäranwendungen. Wissenschaftler, die Gelegenheit hatten, in der Sowjetunion einschlägige Forschungseinrichtungen zu besuchen, bestätigen, dass diese vor allem auf den Gebieten Magnetohydrodynamische Generatoren, Kondensatoren mit sehr grosser Leistungsdichte zur Speicherung von elektrischer Energie, Schaltung von extremen Stromstärken usw. grösste Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen unternimmt.

Anfangs der 80er Jahre wurde in den USA das Partikelstrahlen- mit dem Laserprogramm zu einem einzigen Programm gerichteter Energie zusammengelegt. Interessant ist, dass im amerikanischen SDI-Programm Partikelstrahlen, und zwar vor allem Neutralteilchen, zur Diskrimination von echten, mit Nuklearsprengköpfen dotierten Wiedereintrittskörpern von blossen Täuschungskörpern im Weltraum eingesetzt werden. Allerdings könnte der Teilchenstrahl auch dazu verwendet werden, erkannte Nuklearsprengköpfe zu zerstören.

## 4. ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend lässt sich die heutige Lage auf dem Gebiet der Waffen gerichteter Energie, insbesondere Laser, etwa wie folgt charakterisieren:

In den USA schwergewichtig Forschung und Entwicklung im Rahmen von SDI hinsichtlich

-HF-Laser (ALPHA), raumgestützt

-Free Electron Laser (FEL), bodengestützt

-Röntgenlaser (nukleargetrieben), boden- oder meergestützt mit "Pop-up"-Fähigkeit in den Weltraum

-Neutralteilchenstrahlen für weltraumgestützte Diskrimination zwischen "geladenen" Wiedereintrittskörpern und "ungeladenen" Täuschungskörpern und Eindringhilfskörpern.

Die chemischen Laser scheinen überdies aussichtsreiche Kandidaten für Antisatellitenwaffen und speziell Laserwaffen im konventionellen Bereich abzugeben.

In der Sowjetunion soll der Teilchenstrahlenforschung für mögliche Waffenanwendungen mehr Bedeutung als im Westen zukommen, doch sind noch keine eigentlichen Waffen dieser Bauart bekannt. Die russische Laserentwicklung hat bereits mehrere Waffensysteme hervorgebracht, die mobil auf Schiffen und stationär auf dem Land auf exponierten Höhen eingerichtet worden sind. Mit weiteren solchen Systemen, eventuell sogar Kombinationen von Laser- und Teilchenstrahlsystemen, ist zu rechnen. Grössere Bedeutung als im Westen misst man in der Sowjetunion der Entwicklung von Hochleistungs-Mikrowellenwaffen zu. Diese sind geeignet, vom Boden oder von Flugzeugen aus, Mikrowellenbündel auf gegnerische elektronische Systeme zu richten und deren hochempfindliche Komponenten zu neutralisieren oder zu zerstören. Bei dieser Waffe spricht man auch vom "konventionellen EMP", um darzutun, welche Wirkungen auf Objekte zu erwarten sind (Fig 15).

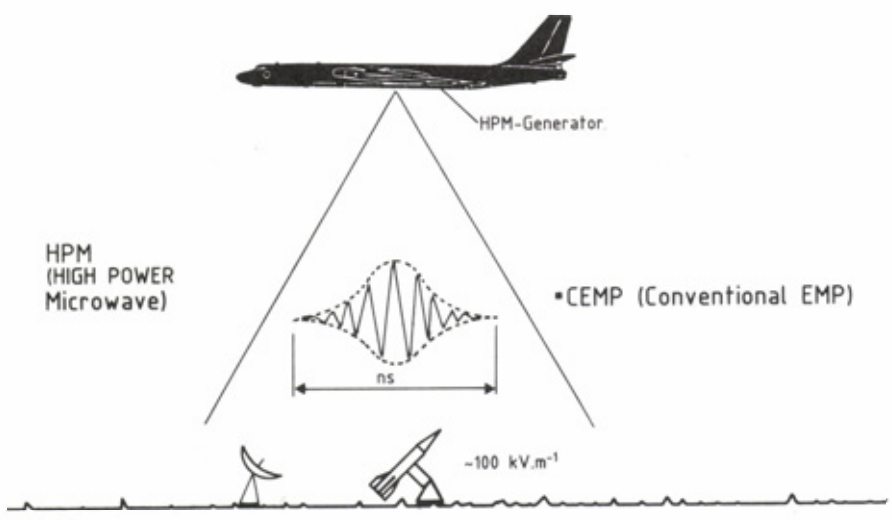



Fig. 15 Skizze einer luftgestützten Hochleistungs-Mikrowellenwaffe (HPM = High Power Microwave)

Bezeichnend für die Entwicklung auf dem Gebiet der Strahlenwaffen ist auch, dass das amerikanische Heer Projekte unter dem Titel "Tactical Directed Energy Warfare" verfolgt und glaubt, etwa ab 1994 die Truppe damit ausrüsten zu können. Die verwendeten Techniken umfassen Laser, Radiofrequenzen (Mikrowellen, Millimeterwellen und nichtnukleare EMP) sowie Teilchenstrahlen.

Aber auch in Wetseuropa werden diverse Strahlenwaffen entwickelt. Ein Beispiel dafür ist das von MBB in der Bundesrepublik Deutschland entwickelte Gefechtsfeld-Laserwaffensystem. Es handelt sich dabei um einen $CO_2$- Hochenergie-Laser (HEL), der im Infraroten (10,6$\mu$m) arbeitet und mit einer fortgeschrittenen Laseroptik versehen ist. Mit Hilfe aktiver Spiegel (adaptive Optik), deren Oberfläche verändert werden kann, ist es möglich, Störeinflüsse der Atmosphäre laufend zu kompensieren, wodurch die Reichweite vergrössert wird. Die Leistung von mehreren Megawatt reicht aus, um bis gegen 10 km Löcher in Flugzeuge zu brennen (Fig. 16).

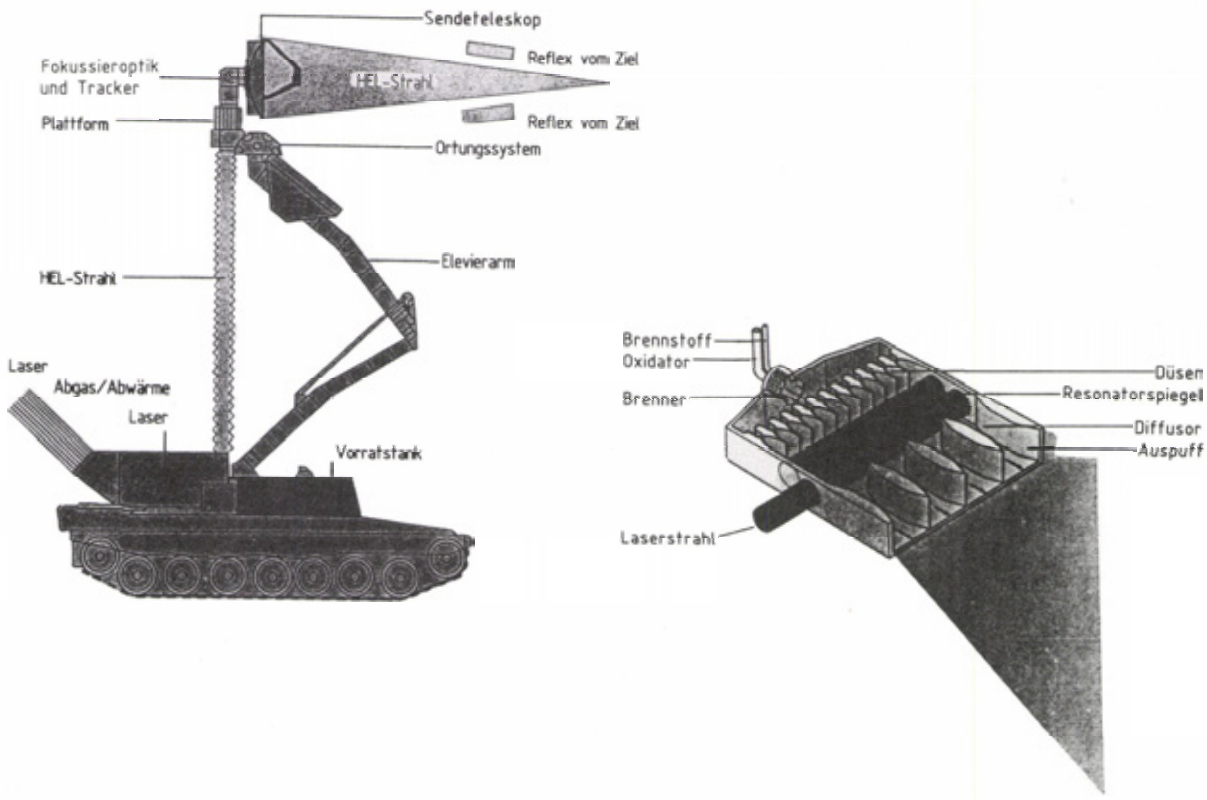



Fig. 16 Hochenergie-Laser-Gefechtsfeldsystem (HEL) und gasdynamischer $CO_2$-Laser

Obschon nicht eine eigentliche Waffe gerichteter Energie, ist das RAILGUN ("Elektromagnetische Kanone") jedoch ein Beispiel dafür, wie aus ursprünglich in SDI-vorgesehenen Projekten unvermittelt selbstständige Entwicklunsgprojekte für Waffensysteme mit ganz anderer Zielsetzung werden.

Seit einiger Zeit ist das Railgun ein Projekt der US Army und Air Force geworden, das rasche Fortschritte in der Entwicklung macht. Bereits existiert ein Projekt für den Einbau eines Railgun in ein mobiles System. Bis 1991/92 soll ein Prototyp bereitstehen. Parallel mit dieser Entwicklung läuft der rasche Fortschritt beim Bau von Kondensatoren mit immer grösserer Dichte gespeicherter Energie:

| | |
|---|---|
| In einem 30 x 40 x 70 cm Modul konnten 1984 | 50 kJ, |
| im Jahre 1986 bereits | 250 kJ |
| und voraussichtlich 1990 | 1000 kJ |

elektrischer Energie gespeichert werden.

Mit wenigen gezielten nuklearen Schlägen lässt sich ein solches raumstationiertes Waffenarsenal eliminieren oder neutralisieren. Es muss deshalb erwartet werden, dass Strahlenwaffen je nach Einsatzzweck so stationiert werden, dass ihre Verwundbarkeit gering bleibt, sie aber dennoch rechtzeitig zur Wirkung gelangen können. Aehnlich wie beim Railgun werden zwangsläufig neue Waffenkategorien im konventionellen Bereich entstehen, die von ihrer Wirkungscharakteristik her neuartige Probleme aufwerfen.

Eine stark geraffte Zusammenstellung nuklearer und nichtnuklearer Strahlenwaffen ist in Fig. 17 dargestellt.

| Nuklear (NDEW) | Nichtnuklear (DEW) |
|---|---|
| NEMP-Waffen<br>Thermische Str. waffen | RF- und Mikrowellenwaffen<br>(HPM, CEMP) |
| Neutronenwaffen<br>(ER/RB) | Teilchenstrahlenwaffen<br>(PBW)<br>-Neutralteilchen (H)<br>-Elektronen |
| 3. Generations-Waffen<br>-"Röntgenlaser" (XRASER)<br>-Enhanced EMP<br>-HPM (High Power Microwave) | Laserwaffen<br>-Chemische<br>-Gasdynamische<br>-Excimer<br>-FEL (Free Electron Laser) |

Fig. 17 Uebersicht über nukleare und nichtnukleare Strahlenwaffen

## 5. FOLGERUNGEN

Während die Entwicklung von Strahlenwaffen - nuklearen und nichtnuklearen Waffen gerichteter Energie - vor allem für die Anwendung als Abwehrwaffen gegen ballistische Raketen und als Antisatellitenwaffen erfolgt und entsprechende Publizität erhält (SDI), ist nicht zu übersehen, dass mit neuartigen Waffensystemen für den Einsatz im Luft- und Land-Luft-Krieg als "Nebenprodukten" dieser Forschungs- und Entwicklungsprogramme ernsthaft gerechnet werden muss. Zum Teil haben solche Anstrengungen bereits einen hohen Reifegrad erreicht, der erwarten lässt, dass vor der Jahrhundertwende einsatzfähige Strahlenwaffen-Systeme auftauchen werden.

Daraus ergeben sich Probleme für eine konventionelle Verteidigungsarmee, die möglichst rasch und gründlich angegangen werden müssen. Auf der technischen Seite werden etwa die Problemfelder

-Bedrohungs- und Risikoanalysen bezüglich Strahlenwaffen (DEW)

-Wirkungen energiegerichteter Waffen auf verschiedene Materialien, elektronische Komponenten, Subsysteme und Systeme, nicht zuletzt aber auch auf Personen (Piloten, Beobachter usw)

-Schutz- und Abwehrmöglichkeiten gegen die verschiedenen Wirkungen von Strahlenwaffen

eingehend zu bearbeiten sein, während auf der taktischen Seite die Auswirkungen, die die Einführung von Strahlenwaffen hervorrufen, in bezug auf die Kampfverfahren gründlich zu analysieren sein werden. Dabei wird es notwendig sein, die spärlichen Kräfte, die einem an SDI nicht beteiligten, über keine eigene Strahlenwaffen-Entwicklung verfügenden, aber technisch hochentwickelten Kleinstaat zur Verfügung stehen, zusammenzuführen und für die Bearbeitung wichtiger Aufgaben aus diesem Bereich einzusetzen. Um im ausklingenden 20. Jahrhundert auch für die Zukunft glaubwürdig zu bleiben, muss die bewährte Strategie der Dissuasion dem Faktor "Strahlenwaffen" die nötige Aufmerksamkeit schenken.

## 6. LITERATUR


/ 1/ E. Sänger
Raumfahrt: Technische Ueberwindung des Krieges, Hamburg 1958

/ 2/ H.G. Wells
The War of the Worlds, Washington Square Press, New York, 1965

/ 3/ H. Weber, G. Herziger
Laser, Grundlagen und Anwendungen, Physik Verlag, Weinheim, 1972

/ 4/ J. Gut
Die Wirkungen von Neutronenwaffen, FMB 83-1, Zürich 1983

/ 5/ G.C. Smith
Delayed Cancer Estimates for Neutron Weapons
Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-90623, Preprint, California, 1983

/ 6/ B. Beckett
Weapons of Tomorrow, Plenum Press, New York + London, 1983

/ 7/ J. Hecht
Beam Weapons, Plenum Press, New York + London, 1984

/ 8/ W.J. Broad
Star Warriors, Simon and Schuster, New York, 1985

/ 9/ J. Gut und W. Blumer
Der elektromagnetische Impuls von Nuklearexplosionen in grosser Höhe - Bedrohungselemente und Berechnungsmethoden, Krieg im Aether XXIV, 1985

/10/ A. Graf v. Rothenburg, R. Wäsche
SDI: Aufbruch zu einer neuen Dimension der Sicherheit, Osang Verlag GmbH, Bonn, 1986

/11/ J. Altmann
Laserwaffen, Universität Marburg, 1986

/12/ D. Schroeer
Directed Energy Weapons and Strategic Defence: A Primer, IISS Adelphi Papers 221, London, 1987

/13/ Report to the American Physical Society of the Study Group on Science and Technology of Directed Energy Weapons, Special Preprint, APS New York, 1987

/14/ Physics Today, June 1987, pp 17-19, pp 43-46,
American Institute of Physics, Woodbury (NY).