

IFSH
IFAR

WORKING PAPER #9
Oktober 2005

LASER ALS WAFFENSYSTEME?

Jan Stupl / Götz Neuneck

Eine englische Übersetzung dieses Papiers wurde in leicht veränderter Form unter dem Titel „High Energy Lasers: A Sensible Choice for Future Weapon Systems?“ in *Security Challenges* 1/2005, S. 135-153 veröffentlicht.

Interdisziplinäre Forschungsgruppe Abrüstung und Rüstungskontrolle

GRUPPENPROFIL

Die „Interdisziplinäre Forschungsgruppe Abrüstung und Rüstungskontrolle (IFAR)“ beschäftigt sich mit dem komplexen Zusammenspiel von rüstungsdynamischen Faktoren, dem potenziellen Waffeneinsatz, der Strategiedebatte sowie den Möglichkeiten von Rüstungskontrolle und Abrüstung als sicherheitspolitische Instrumente. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt dabei auf folgenden Forschungslinien:

- Grundlagen, Möglichkeiten und Formen von Rüstungskontrolle, Abrüstung und Nonproliferation nach dem Ende des Ost-West-Konfliktes sowie die Entwicklung von anwendungsbezogenen Konzepten präventiver Rüstungskontrolle
- „Monitoring“ der fortschreitenden Rüstungsdynamik und Rüstungskontrollpolitik in Europa und weltweit mit Fokus auf moderne Technologien
- Technische Möglichkeiten existierender und zukünftiger (Waffen-) Entwicklungen, besonders im Bereich Raketenabwehr und Weltraumbewaffnung

Der steigenden Komplexität solcher Fragestellungen wird in Form einer interdisziplinär arbeitenden Forschungsgruppe Rechnung getragen. Die Arbeitsweise zeichnet sich durch die Kombination von natur- und sozialwissenschaftlichen Methoden und Expertisen aus. Durch die intensiven Kooperationen mit anderen Institutionen unterschiedlicher Disziplinen wird insbesondere Grundlagenforschung im Bereich der naturwissenschaftlich-technischen Dimension von Rüstungskontrolle geleistet. Darüber hinaus beteiligt sich IFAR auch an einer Reihe von Expertennetzwerken, die Expertisen aus Forschung und Praxis zusammenführen und Forschungsanstrengungen bündeln.

Die Arbeitsgruppe hat eine langjährige Expertise in den Bereichen kooperative Rüstungssteuerung und Rüstungstechnologien sowie verschiedene wissenschaftlichen Kernkompetenzen aufgebaut. Diese flossen in die international vielbeachteten Beiträge des IFSH zur Rüstungskontrolle ein, so das Konzept der 'kooperativen Rüstungssteuerung' sowie Studien zur konventionellen und nuklearen Rüstung und Abrüstung, zur Bewertung technologischer Rüstungsprozesse, zur strategischen Stabilität, zur strukturellen Angriffs-unfähigkeit sowie zur Vertrauensbildung und europäischen Sicherheit.

IFAR bietet verschiedene Formen der Nachwuchsförderung an. Neben Lehrtätigkeiten gemeinsam mit der Universität Hamburg und im Studiengang 'Master of Peace and Security Studies' können auch Praktika in der Arbeitsgruppe absolviert werden.

Die Arbeitsgruppe kooperiert mit einer Vielzahl von nationalen und internationalen Organisationen.

Kontakt:
Götz Neuneck
Interdisziplinäre Forschungsgruppe Abrüstung und Rüstungskontrolle IFAR
Institute for Peace Research and Security Policy at the University of Hamburg
Falkenstein 1, 22587 Hamburg
Tel: +49 40 866 077-0 Fax: +49 40 866 36 15
ifar@ifsh.de www.ifsh.de
Webpage zur Rüstungskontrolle: www.armscontrol.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Das Anwendungsspektrum von Lasern in der Militärtechnik	2
3	Fragen für die Friedensforschung zum Thema Hochenergielaser (HEL)	4
4	Technische Eigenschaften von HEL	7
5	Überblick über HEL Projekte	8
6	Weitere Informationen zu einigen U.S. HEL Projekten	11
6.1	Airborne Laser	11
6.1.1	Technische Eigenschaften des Airborne Lasers	12
6.1.2	Realisierbarkeit	13
6.1.3	Alternative Einsatzmöglichkeiten des ABL	14
6.2	Tactical High Energy Laser	14
7	Zusammenfassung	17
8	Ausblick: Forschung zur Rüstungskontrolle von Laserwaffen am IFSH	18
9	Danksagung	19
	Literatur	19

1 Einleitung

Die dem Laser zugrundeliegenden physikalischen Prozesse wurden 1916 von Albert Einstein entdeckt. Die erste experimentelle Realisierung erfolgte durch T.H. Maiman im Jahr 1960 mit einem Rubinlaser. Finanziell großzügig ausgestattete Forschungsprogramme führten schon bald zu ersten Anwendungen auf militärischem Gebiet. Bereits im Jahr 1968 wurde die erste „Laserwaffe“ für die amerikanische Luftwaffe entwickelt: eine lasergelenkte Bombe.

Heute sind Laser mit Ausgangsleistungen im Bereich von Milliwatt bis zu Petawatt (10^{15} W) verfügbar. Im Rüstungssektor wurden und werden eine Vielzahl von Anwendungen entwickelt. Laser werden zur Entfernungsmessung, zur Kommunikation, zur Zielmarkierung und als Blendwaffen verwendet. Beispiele für zivile Anwendungen sind CD-Player, die Medizintechnik, industrielle Anwendungen wie Laserschweißen und Forschung zur laserinduzierten Kernfusion. Manchmal ist die Trennung zwischen zivilen und militärischen Anwendungen schwierig.

Beim Militär spricht man bei Lasern mit einer kontinuierlichen Ausgangsleistung von mehr als 20 kW von Hochenergielasern (HEL). Ausgangsleistungen in der Größenordnung von Kilowatt oder sogar Megawatt ermöglichen die Erzeugung eines Fokuspunktes mit hoher Intensität über Entfernungen von Kilometern bzw. mehreren hundert Kilometern. Wird ein Zielobjekt dadurch auf eine kritische Temperatur erhitzt, kann es zerstört werden.

Mehrere Forschungsprogramme beschäftigen sich mit laserbasierten Energiewaffen, sogenannten „Directed Energy Weapons“ (DEW), die sich auf dieses Grundprinzip stützen. Allein in den USA werden 2005 mindestens eine halbe Milliarde Dollar zur Entwicklung von solchen DEWs ausgegeben. In anderen Ländern, so auch in Deutschland, findet ebenfalls Forschung auf diesem Gebiet statt. Dieser Bericht soll einen Überblick über existierende und geplante Anwendungen von Hochenergielasern in der Militärtechnik geben.

In Abschnitt zwei folgt zunächst ein Überblick über die Bandbreite von militärischen Laseranwendungen. Der Abschnitt danach beschäftigt sich speziell mit den Fragen, die sich aus der Anwendung von Hochenergielasern als DEW für die Friedensforschung ergeben. Nach einigen allgemeingültigen Informationen über technische Eigenschaften von Laserwaffen wird eine Übersicht über aktuelle Rüstungsprojekte gegeben. Auf die Projekte *Airborne Laser* und *Tactical High Energy Laser* wird in einem eigenen Abschnitt genauer eingegangen. Der Bericht schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf die Forschung am Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg (IFSH) zu der Frage von Präventiver Rüstungskontrolle im Zusammenhang mit Laserwaffen.

2 Das Anwendungsspektrum von Lasern in der Militärtechnik

Eine Unterteilung der militärischen Laseranwendungen ist grob zwischen Sensorapplikationen und der direkten Anwendung als Waffe möglich. Der Begriff Waffe bedeutet hier, dass die Energie des Laserstrahls direkt für die Schädigung bzw. Zerstörung eines Zielobjektes verantwortlich ist. Der Übergang zwischen beiden Kategorien erfolgt oft fließend, da der Laser im Bereich der Sensortechnik meist als aktives Messinstrument eingesetzt wird. Dabei wird die rückgestreute Strahlung eines ausgesandten Laserstrahls zur Informationsgewinnung benutzt. Besitzt der ausgesandte Strahl eine hohe Intensität, kann dieser z.B. Schäden im menschlichen Auge hervorrufen und die Einstufung des Geräts als Waffe wäre möglich. Eine Übersicht der vorgestellten Anwendungen findet sich in Tabelle 1.

¹im humanitären Völkerrecht

Sensoranwendungen

Die Fertigstellung der ersten lasergelenkten Bomben erfolgte 1968 von Seiten der US Airforce (vgl. GlobalSecurity.org 2005; Air Force Museum 2002). Damit ist dieser Waffentyp das älteste Beispiel für die Anwendung der Lasertechnologie für militärische Zwecke. Durch den Golfkrieg 1991 wurde er einer breiten Öffentlichkeit bekannt.

Man spricht bei den lasergelenkten Bomben auch vom Prinzip der **Zielmarkierung**. Dabei wird das Ziel mit einem Laser einer bestimmten Wellenlänge und Modulation beleuchtet. Ein in der Bombe integrierter Detektor kann dieses Signal von anderen Signalen unterscheiden. Mittels einer Steuerelektronik wird die Bombe dann Richtung Ziel gelenkt.

Zur **Entfernungsmessung** wird ein Laserimpuls vom Messgerät ausgesandt und die Laufzeit gemessen, bis der vom Messobjekt zurückgestreute Anteil wieder bei der Quelle eintrifft. Daraus lässt sich die Entfernung berechnen. Dieses Prinzip ist in Feuerleitsystemen von Panzern seit 1976 im Einsatz, wie GlobalSecurity.org (2004) berichtet.

Die Abkürzungen **LiDAR** bzw. **LaDAR** stehen für *Light Detection and Ranging* bzw. *Laser Detection and Ranging*. Die beiden Abkürzungen werden synonym mit dem Begriff Laser-Radar verwendet. Die Begriffsbildung orientiert sich dabei am Radar, das ebenfalls eine aktive Methode der Fernerkundung ist. Dabei wird der Begriff inzwischen nicht mehr nur für reine Entfernungsmessung verwendet. So werden mit der im letzten Absatz beschriebenen Methode über die Laufzeit von Impulsen Höhenprofile für Cruise Missiles erzeugt. Aus dem rückgestreuten Signal lassen sich aber auch über den Dopplereffekt die Geschwindigkeit von Luftschichten oder bewegten Objekten bestimmen. Benutzt man ein multispektrales Signal, können aus der Frequenzabhängigkeit der gestreuten Intensitäten Rückschlüsse über die Zusammensetzung der Atmosphäre gezogen werden. Eine Einsatzmöglichkeit ist z. B. auch die Detektion von Chemiewaffen in der Atmosphäre. Die Forschung wird hier sowohl auf zivilem als auch militärischem Gebiet weiter verfolgt. Weitere Informationen finden sich bei Argall u. Sica (2003).

Auch im Kommunikationssektor werden Laser eingesetzt. Durch die gerichtete Natur der Strahlung wird das Abhören erschwert. Immer noch in der Entwicklungsphase ist

Sensorik	Beispiel	Status
Zielbeleuchtung	Lasergelenkte Bomben	Bereitstellung 1968
Entfernungsmessung	Feuerleitsystem f. Panzer	Bereitstellung 1976
Kommunikation	U-Boot-Kommunikation	Entwicklung
LiDAR / LaDAR	Detektion Chemiewaffen	Entwicklung
Wirkwaffen		
Blendlaser	mehrfach eingesetzt	verboten ¹
Punktverteidigung	Artillerieabwehr	Prototypen
Raketenabwehr	Airborne Laser	Entwicklung

Tabelle 1: Militärisches Anwendungsspektrum von Lasern

das Gebiet der U-Boot-Kommunikation (vgl. Risk u. a. 2003). Bestimmte Wellenlängen werden vom Wasser nur wenig absorbiert. Außerdem ist selbst nach einem Auftauchen des U-Boots durch die Richtwirkung eine Kommunikation möglich, ohne weiträumig auf sich aufmerksam zu machen, wie es durch eine ungerichtete Funkverbindung geschehen würde.

Laser als Wirkwaffen

Die direkte Anwendung von Laserenergie als Wirkwaffe lässt sich grob nach der Ausgangsleistung der verwendeten Laser ordnen.

Laserblendwaffen sind gegen das menschliche Auge gerichtet. Sie sollen kurzzeitiges oder dauerhaftes Erblinden hervorrufen (vgl. Peters 1995). Diese Waffen benötigen nur eine geringe Ausgangsleistung, da die Retina sehr empfindlich ist. Neben direkter Verbrennung der Retina kann auch das Auslösen von Blutungen im Auge zur Erblindung führen. Über kurze Entfernungen (einige Meter) genügen schon wenige Milliwatt, um eine Schädigung des Auges zu verursachen. Laserblendwaffen sind im humanitären Völkerrecht seit 1995 verboten (siehe auch Abschnitt 3), wurden vorher aber schon im Falklandkrieg (vgl. Jack H. McCall 1997) und im Iran-Irak-Krieg eingesetzt (vgl. Arkin u. Peters 1995).

Dieser Bericht beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit Hochenergielasern. Als Hochenergielaser (HEL) werden vom U.S. Militär alle Laser mit einer Ausgangsleistung größer als 20 kW bzw. einer Pulsenergie größer als 1 kJ bezeichnet (vgl. U.S. Defense Threat Reduction Agency 2000). Zur Punktverteidigung ist der Einsatz von HEL zur Abwehr von Artillerieraketen und Mörsergeschossen geplant. Es existiert ein Prototyp, der so genannte *Tactical High Energy Laser (THEL)*, der laut Shwartz u. a. (2002) unter kontrollierten Bedingungen erfolgreich getestet wurde.

Strategische Waffensystemen zur **Raketenabwehr** sind in der Planungsphase. Beim *Airborne Laser (ABL)*, einem flugzeuggestützter HEL, wird am Aufbau eines Prototypen gearbeitet. Details zu den letzten beiden Projekten finden sich in Abschnitt 6. Zunächst soll aber auf den sicherheitspolitischen Kontext eingegangen werden.

3 Fragen für die Friedensforschung zum Thema Hochenergielaser

Zu den Auswirkungen einer möglichen Stationierung von HEL-basierten Waffensysteme ergeben sich verschiedene Fragen.

Laserwaffen als neue Technologie

Es handelt sich hier um neu entwickelte Rüstungstechnologie mit einem vollständig neuen Waffentyp. Es ist deshalb zu klären, wie wahrscheinlich eventuelle technologische **Rüstungswettläufe** sind. Ein mögliches Szenario wäre die Stationierung eines laserbasierten Raketenabwehrsystems durch ein Land. Dann wäre ein direkter Rüstungswettlauf

möglich, d.h. andere Staaten könnten auch versuchen, sich ein ähnliches System zu beschaffen. Ein anderes Szenario wäre die Reaktion mit anderen Rüstungsanstrengungen, z. B. der Modernisierung von Raketen, um durch Gegenmaßnahme das Abwehrsystem zu umgehen oder mit der Aufstockung der Arsenale, um die Kapazität des Abwehrsystems zu überlasten. Solche Maßnahmen würden sicher nicht einseitig bleiben, ein Rüstungswettlauf könnte dann durch den Laser indirekt ausgelöst werden.

Rüstungswettläufe können zu sicherheitspolitischen **Instabilitäten** führen. Ein weiteres Szenario, das ebenfalls destabilisierende Auswirkungen erwarten lässt, wäre die Stationierung einer Antisatellitenwaffe. Ein Test eines Hochenergielasers gegen einen Satelliten hat in den USA im Oktober 1997 stattgefunden (siehe U.S. Department of Defense 1997 und Lambeth 2003). Staaten könnten sich nach der Stationierung eines solchen Systems durch einen potentiellen Gegner nicht mehr sicher sein, ob der Ausfall eines Satelliten auf einem technischen Defekt beruht, oder aufgrund eines Angriffs erfolgt ist. Wäre der ausgefallene Satellit Teil eines Frühwarnsystems, sind unbeabsichtigte Eskalationen nicht auszuschließen. Weitere mögliche Ursachen von Instabilitäten sind zu klären, wie z. B. Kollateralschäden oder ungewollte Proliferation.

Die **Proliferation**, d.h. die Weiterverbreitung von Laserwaffen, wird durch die große Zahl von Laseranwendungen in der Materialbearbeitung vereinfacht. Allerdings sind die Geräte der Lasermaterialbearbeitung relativ teuer und ohne grundlegende Modifikationen nur sehr schwer in einem militärischen Kontext einzusetzen. Zu prüfen ist, inwieweit die einfache Verfügbarkeit solcher Geräte zu einer Erleichterung der militärischen Grundlagenforschung führt.

Rüstungskontrolle und Abrüstung

Einen Weg zur Anwendung rüstungskontrollpolitischer Maßnahmen zeigt das **Laserblendwaffenprotokoll** von 1995.² Das Protokoll verbietet den Einsatz und die Weitergabe von Laserwaffen, die gegen das menschliche Augenlicht gerichtet sind. Außerdem sind die Vertragspartner gehalten, alle möglichen Maßnahmen zu treffen, um Erblindungen durch den Einsatz von Lasern zu vermeiden. Allerdings wird die Anwendung des Protokolls auf Fälle „zufälliger und kollateraler Erblindung“ bei „legitimierter“ militärischer Anwendung ausgeschlossen.³ Dies öffnet eine Hintertür für eine Anwendung trotz

²Viertes Protokoll zur *Convention on Prohibitions or Restriction on the Use of Certain Conventional Weapons Which May be Deemed to be Excessively Injurious or to Have Indiscriminate Effects* von 1995, siehe IKRK Vertragsdatenbank.

³Der vollständige Vertragstext und eine Liste der Vertragspartner findet sich in der Vertragsdatenbank des Internationalen Komitees vom Roten Kreuz, vgl. IKRK Vertragsdatenbank. Die USA spielen eine Sonderrolle. Sie haben das Protokoll nicht unterzeichnet, es existiert aber eine einseitige Erklärung des Verteidigungsministers, die den Einsatz verbietet und die als völkerrechtlich bindend angesehen wird (vgl. Doswald-Beck 1996): am ersten September 1995 erklärte Secretary of Defence William Perry: „The Department of Defence prohibits the use of lasers specifically designed to cause permanent blindness of unenhanced vision and supports negotiations prohibiting the use of such weapons.“; vgl. Stallard (2003).

dieses Verbots. Immerhin ist die Vermarktung von reinen Blendwaffen geächtet und eine größere Aufrüstung auf staatlicher Seite ist bisher nicht festzustellen.

Idealerweise würde ein Prozess *Präventiver Rüstungskontrolle* schließlich zum vollständigen **Verbot** aller Laserwaffen führen. Ob und wie so ein Verbot politisch durchsetzbar wäre, ist eine weitere Fragestellung. Informationen zum Konzept der Präventiven Rüstungskontrolle finden sich zum Beispiel bei Mutz u. Neuneck (1989), Petermann u. a. (1997) und Liebert u. Neuneck (1991) und (1992). Es ergibt sich auch die technisch-naturwissenschaftliche Frage, wo man die Grenze zwischen einem Werkzeug der Lasermaterialbearbeitung und einer Waffe ansetzt. Braid u. a. (1990) und Altmann (1994) machen hier einige Vorschläge, welche technischen Parameter zu begrenzen wären. Eine weitere Möglichkeit wäre, den Aufbau von Hochenergielasern nur in festen Hallen zu erlauben und so den Einsatz gegen Satelliten auszuschließen.

Die **Verifikation** eines Verbots wäre für langreichweitige Laserwaffen (Reichweite mehrer hundert Kilometer) relativ einfach. Dort sind große optische Öffnungen in der Größenordnung von einem Meter oder mehr nötig, um eine beugungsbedingte Aufweitung des Strahls zu verhindern. Linsen oder Spiegel dieser Größenordnung sind schwer herzustellen und für andere Anwendungen kaum zu gebrauchen. Ein neues Problem stellt hier aber auch die Verifikation des Einsatzes, bzw. der Ausgangsquelle des Laserstrahls dar. Der Strahl selbst erscheint im Gegensatz zu Raketen und Marschflugkörpern nicht auf einem Radarschirm.

Vertraglich festzulegende Obergrenzen für die Intensität eines Laserstrahls in der Atmosphäre ließe sich über den von der Luft zurückgestreuten Anteil der Strahlung überprüfen, wie Braid u. a. (1990) und Prilutsky u. Fomenkova (1990) ausführen. Bei bekannter Entfernung zur Quelle kann der Strahldurchmesser bestimmt werden und aus dem zurückgestreuten Anteil die Intensität abgeschätzt werden.

Naturwissenschaftlich-technische Fragen

Um die bisher genannten Fragen beantworten zu können, ist es auch nötig, den naturwissenschaftlich-technischen Hintergrund zu verstehen. Bis ein Laser wirklich als Waffe wirksam wird, werden eine ganze Kette von ineinandergreifenden Prozessen durchlaufen. Diese beginnt mit der Energieerzeugung im Laser und läuft dann über Energietransport durch die Atmosphäre bis zur Wechselwirkung zwischen Laserstrahlung und Zielobjekt. Dort kommt es möglicherweise zu Material- oder Strukturversagen, also einer Schädigung oder Zerstörung des Ziels.

Die Physik der einzelnen Prozesse in der Kette ist relativ gut verstanden. Ob das Gesamtsystem Laserwaffe aber funktionsfähig sein wird, hängt vom Zusammenspiel aller Prozesse ab. Außerdem gibt es zusätzlich zu den bei konventionellen Waffensystemen bekannten Gegenmaßnahmen wie z. B. Panzerung, bei Laserwaffen auch eine Reihe von neuen Gegenmaßnahmen. Auf diese wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

4 Technische Eigenschaften von HEL

Hochenergielaser sind Energiewaffen, sogenannte Directed Energy Weapons (DEW), deren Wirkung auf der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen, also Licht beruht. Daraus ergeben sich aus militärischer Sicht Vorteile und Einschränkungen für diese Waffen (siehe auch Neuneck 2001):

Eigenschaften, die den militärischen Einsatz erleichtern:

- Die Ausbreitungsgeschwindigkeit entspricht der Lichtgeschwindigkeit (300.000 Kilometer pro Sekunde) und die Übertragung der Energie erfolgt durch Photonen, die masselos sind. Deshalb erfolgt die Ausbreitung im Vakuum geradlinig. Näherungsweise trifft das auch für die Ausbreitung in der Atmosphäre zu. Der Zielvorgang wird im Vergleich zu ballistischen Waffen stark vereinfacht und ein Vorhalt ist nur im geringem Maß nötig.
- Laserstrahlen sind mit Hilfe von Spiegeln umlenkbar. Dies beschleunigt den Zielvorgang, da keine schweren Geschütze bewegt werden müssen.
- Benutzt man große optische Öffnungen, bleiben die Laserstrahlen über große Entfernungen (mehrere hundert bis mehrere tausend Kilometer) nahezu parallel. Dadurch ergibt sich eine große Reichweite. Kombiniert man dies mit der Möglichkeit der Umlenkbarkeit durch Spiegel, ist ein System denkbar, dass durch einen stationären Hochenergielaser und mehrere eventuell im Weltraum stationierte Spiegel große Gebiete der Erde erreichen könnte.
- Auf Munition kann im Idealfall verzichtet werden. In Abhängigkeit vom Lasertyp muss unter Umständen nur elektrischer Strom bereitgestellt werden.
- Es bleiben wenig Spuren vom Angreifer zurück. Elektronische Bauteile oder andere zurückzuverfolgende Reste von Raketen o. ä. sind nicht vorhanden.

Einschränkungen

Die folgenden Einschränkungen ergeben sich für die Anwendung von Hochenergielasern in Waffensystemen:

- Jede optische Öffnung führt zwangsläufig zur Beugungseffekten und einer Aufweitung des Strahls. Damit sinkt die Intensität ab und die Reichweite einer Laserwaffe ist begrenzt. Dies gilt auch im Vakuum, da der Strahlaustritt des Lasers schon eine optische Öffnung darstellt.
- Benutzt man einen Hochenergielaser auf der Erde, verringern verschiedene Wechselwirkungen mit der Atmosphäre die maximale Reichweite von Laserwaffen zusätzlich. Im einfachsten Fall reduzieren Absorption und Streuung die Intensität

der einfallenden Strahlung am Ziel. Zusätzlich erhitzt der Strahl die Atmosphäre. Je nach Intensität und Entfernung kann dies zu Brechzahlunterschieden in der Luft senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Lasers führen, die wie eine Zerstreuungslinse wirken. Turbulenzen lösen ähnliche Effekte aus. Auch ist die maximale übertragbare Intensität (Leistung pro Fläche) beschränkt. Ab einer gewissen Intensität wird der Zusammenhang zwischen der Intensität und Absorption nicht-linear. Der Absorptionsgrad der Luft steigt schneller als die Intensität. So existiert ein Maximum für die durch Luft übertragbare Intensität (siehe U.S. Department of Defense 2001 S.103 und Nielsen 2003).

- Die Energiequellen sind zur Zeit voluminös und kostenintensiv. Kleine Akkumulatoren können bis heute noch nicht die benötigten Energiemengen speichern.
- Der Zerstörungsmechanismus ist auch abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Ziels. Die Zeit bis zur Zerstörung des Ziels ergibt sich unter anderem aus dem Absorptionsgrad der Laserstrahlung im Ziel. Diese Zeitdauer kann erheblich größer sein als bei konventionellen Sprengstoffen, die ihre gesamte (chemische) Wirkenergie innerhalb von Millisekunden abgeben.
- Es sind eine Reihe speziell auf Laserwaffen zugeschnittene Gegenmaßnahmen vorstellbar. So kann man z. B. das Ziel verspiegeln oder die Streuung in der Atmosphäre künstlich (z. B. durch Rauchbomben) erhöhen.

Trotz dieser Einschränkung gibt es weltweit eine Reihe von Projekten, die sich mit dem Einsatz von Hochenergielasern als Waffen beschäftigen.

5 Überblick über HEL Projekte

Die folgende Daten stammen aus öffentlichen Quellen. Die meisten Informationen findet man über Projekte in den USA. Über die Entwicklungen in anderen Ländern gibt es deutlich weniger Informationen.

USA

In den Vereinigten Staaten wird ein weiter Bereich von möglichen Anwendungsgebieten erforscht. Der Status der Projekte reicht von der Planungsphase bis zu fertigen Prototypen.

Der **Space Based Laser (SBL)** ist als Mittel zur Raketenabwehr geplant. Anwendungen gegen Satelliten wären wahrscheinlich ebenfalls möglich. Vorgesehen ist die Ausstattung mit einem chemischen Laser (Wasserstofffluorid HF, Wellenlänge $\lambda = 2,7 \mu\text{m}$).⁴ Die Grundidee ist, einen oder mehrere dieser Hochenergielaser im Weltraum zu betreiben und von dieser Plattform aus Interkontinental- und Mittelstreckenraketen zu zerstören. Der Transport eines solchen Systems in den Weltraum ist aber technisch nicht

⁴Wellenlängen größer $0,8 \mu\text{m}$ gehören zum Infraroten, der Strahl ist also nicht direkt sichtbar.

gelöst. Das *Defense Science Board*, ein „*Federal Advisory Committee established to provide independent advice to the Secretary of Defense*“ kritisiert, dass sowohl die Größe (Spiegeldurchmesser) als auch das Gewicht eines solchen Satelliten mit den existierenden Raketen nicht in den Weltraum zu bringen seien (vgl. U.S. Department of Defense 2001, S.129). Zur Zeit (2005) sind im öffentlichen Haushalt der USA keine Mittel mehr für den SBL vorhanden. Aus militärischer Sicht liegen die Vorteile eines weltraumbasierten Systems in der auf ein Minimum reduzierten Wechselwirkung des Strahls mit der Atmosphäre und in dem sich aus der Höhe ergebenden großen Einsatzradius. Als weitere Nachteile ergeben sich jedoch die extrem erschwerte Wartung (nur durch Astronauten oder Roboter) und die Energieversorgung.

Der **Airborne Lasers (ABL)** ist ein flugzeuggestützter Hochenergielaser auf Basis einer Boeing 747. Er ist ebenfalls zur Abwehr von ballistischen Raketen geplant. Das Flugzeug soll sich in der Nähe (Reichweite ca. 200-600 km) von Raketenbasen aufhalten und aufsteigende Raketen in der Beschleunigungsphase abschießen. Er ist mit einem chemischen Sauerstoff-Jod-Laser (COIL) ausgestattet (Wellenlänge $\lambda = 1,315 \mu\text{m}$). Zur Zeit wird an der Herstellung eines Prototypen gearbeitet. Die Haushaltsmittel betragen circa 500 Millionen Dollar pro Jahr (vgl. GAO 2005b). Details zu diesem System finden sich in Abschnitt 6.1.

Zur Abwehr von Mörsergranaten und Kurzstreckenraketen wurde ein Prototyp des **Tactical High Energy Laser (THEL)** aufgebaut und getestet. Es handelt sich dabei um einen bodengestützten Laser, der in Form von mehreren Containern transportabel ist. Hier kommt ebenfalls ein chemischer Laser zum Einsatz (Deuteriumfluorid DF, Wellenlänge $\lambda = 3,8 \mu\text{m}$). Zur Zeit wird an einer mobilen Variante, dem Mobile Tactical High Energy Laser (MTHEL) geforscht. Weitere Details finden sich im Abschnitt 6.2.

Der Räumung von Blindgängern und Minen dient ein auf einem geländegängigen Fahrzeug montierter Nd:YAG Laser mit bis zu 2 kW Ausgangsleistung (vgl. Gourley 2004). Die Aufgabe ist das kontrollierte „Abbrennen“ von erkannten Gefahrstoffen aus sicherer Entfernung ohne Risiko für Räumpersonal, die Reichweite beträgt bis zu 300 m. Das Projekt läuft unter dem Namen **ZEUS**. Ein Prototyp war in Afghanistan im Einsatz, zur Zeit wird ein weiterer Test im Irak durchgeführt (vgl. Shachtman 2005).

Grundlagenforschung zur Laserentwicklung wird ebenfalls verfolgt. Das Projekt **Solid State Heat Capacity Laser (SSHCL)** hat die Entwicklung eines transportablen Festkörper-HELs zum Ziel. Im Unterschied zu den bisher genannten Chemielasern erfolgt die Energieversorgung mit elektrischem Strom und nicht durch das „Verbrennen“ von Chemikalien. Dies erhöht die Flexibilität des Systems. Weiteres Ziel ist die Miniaturisierung. Der Einsatz ist sowohl in einem zukünftigen MTHEL als auch in Flugzeugen angedacht. Zur Zeit wird eine Ausgangsleistung von 13 kW erreicht, das Ziel liegt bei 100 kW (U.S. Department of Defense 2001, S.122). Eine Aufstellung der Projekte und

der für sie pro Jahr (Fiscal Year FY) zur Verfügung stehenden Mittel⁵ findet sich in Tabelle 2.

Projekt	Lasersystem	Anwendung Reichweite	Mittel 2005 Status
SBL	HF	Raketenabwehr/ASAT global	keine bekannt
ABL	COIL	Raketenabwehr 200-600 km	ca. 500 Mio. USD Aufbau Prototyp
THEL/ MTHEL	DF	Artillerie Abwehr 5 km	ca. 50 Mio. USD (Testbed)
SSHCL	Nd:glass/Nd:GGG	z. B. MTHEL	ca. 10 Mio. USD (Lasersentwicklung)
ZEUS	Nd:YAG	Minen/Blindgänger ≈ 250 m	privat (Sparta, Inc.) Testphase

Tabelle 2: HEL Projekte in den USA

Projekte außerhalb der USA

Für andere Länder gibt es nur wenige Informationen. Dies kann einerseits an den niedrigeren Rüstungsausgaben liegen, aber natürlich auch an einer restriktiveren Informationspolitik.

In **Deutschland** gab es Ende der 1970er Jahre Bestrebungen ein auf einem gasdynamischen CO₂ Laser basierendes Luftabwehrsystem aufzubauen. Beteiligt waren die Firmen Diehl und MBB. Ob und wann dieses Projekt eingestellt wurde, ist nicht bekannt (vgl. Anderberg u. Wolbarsht 1992). Die Firma Rheinmetall-DeTec entwickelt zur Zeit Waffensysteme auf der Basis von Mittelenergielasern. Diese gepulsten Festkörperlaser sind gegen optische Sensoren gerichtet (vgl. Wollmann 2003). Weiterhin ist im Geschäftsbericht von 2003 erwähnt, dass „*im Rahmen eines Auftrags des Bundesministeriums für Verteidigung ... an der Entwicklung von Laser- und Mikrowellenwaffen gearbeitet*“ wurde (vgl. Rheinmetall DeTec AG 2004). Außerdem untersuchen die Firmen Diehl und EADS-LFK und das DLR in Stuttgart im Auftrag des Bundesamtes für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB) die Eigenschaften einer künftigen Mittelenergie- waffe (vgl. Aviation Week 2004). Ein „MEL-COIL“ genannter Laserwaffendemonstrator erreichte Ausgangsleistungen im höheren Kilowattbereich, wie der BDLI 2004 berichtet. Es handelt sich hierbei ebenfalls um einen chemischen Sauerstoff-Jod-Laser, der auf dem Gelände der Wehrtechnischen Dienststelle für Waffen und Munition des BWB in Mep- pen erprobt wird (vgl. WTD91 2004). Laut Hausprospekt des Instituts für Technische

⁵Die Zahlen ergeben sich als Summation von Einzelposten, die aus öffentlichen Quellen bis Ende März 2005 zugänglich waren. Das Ergebnis für den ABL stimmt mit dem des GAO (2005b) überein, die Zahlen für den THEL mit den in Abschnitt 6.2 angegebenen Quellen.

Physik der DLR (2003) ist das Ziel der Untersuchung die Bewertung des Potentials des Lasers als Luftverteidigungssystem.

China entwickelte noch vor 1995 einen mobilen Blendlaser. Die chinesische Firma Norinco stellte eine Waffe mit der Typennummer ZM-87 im Frühjahr 1995 auf einer Rüstungsmesse auf den Philippinen vor. Laut Datenblatt werden Augen in Entfernungen bis zu 3km verletzt und in Entfernungen bis zu 10km geblendet (vgl. Peters 1995, S.11). China hat allerdings das Laserblendwaffenprotokoll im Oktober 1995 unterschrieben und 1998 ratifiziert. Der Laser findet sich heute nicht mehr unter den auf der Internetseite der Firma Norinco beworbenen Waffensysteme.

Über **Russland** gibt es widersprüchliche Angaben (vgl. Anderberg u. Wolbarsht 1992). Die berichtete maximale Ausgangsleistung der (ehemals) sowjetischen Systeme schwankt zwischen 20 kW und 1 MW. Es gab 1989 aber eine Versuchsanlage zur Laser-Raketenabwehr. Dort war ein 20 kW CO₂-Laser mit einer beweglichen Spiegeleinheit zur Zielverfolgung gekoppelt, die mit einem rudimentären Computersystem gesteuert wurde. Es wurden Versuche zur Zielverfolgung im Weltraum und in der Luft unternommen, wie eine U.S. Delegation berichtet, die das Gelände 1989 besucht hat (siehe von Hippel 1989).

Israel arbeitet mit den USA beim Projekt THEL zusammen. Ziel war der Schutz gegen Angriffe mit Katyusha-Raketen. Die israelische Firmen stellen u.a. das Radar und das Kontrollsystem zur Verfügung. Genauere Informationen finden sich in Abschnitt 6.2 und bei Shwartz u. a. (2002).

In **Frankreich** gab es es Versuche mit einem chemischen DF-Laser (Projektname Latex- laser associé à une tourelle expérimentale) (vgl. Anderberg u. Wolbarsht 1992 und quid.fr 2000). Dort sollte ein chemischer Hochenergielaser mit einer beweglichen Spiegeleinheit gekoppelt werden. Wie auch in den USA gibt es Versuche zur laserinduzierten Kernfusion mit gepulsten Hochenergielasern, die sich auch für die Verifizierung von Simulationsrechnungen zu Wasserstoffbomben nutzen lassen (vgl. CEA 2003). Es handelt sich beim letzteren aber nicht um Experimente mit Laserwirkwaffen.

6 Weitere Informationen zu einigen U.S. HEL Projekten

Die beiden Hochenergielaserprojekte, die einer Realisierung am nächsten stehen, sind der Airborne Laser und der Tactical High Energy Laser der USA. Da diese sich relativ weit fortgeschrittenen Entwicklungs- und Teststadium befinden, sollen deren Eigenschaften und Probleme hier genauer angesprochen werden.

6.1 Airborne Laser

Der Airborne Laser ist zur Raketenabwehr projektiert. Dabei soll das Flugzeug in Reichweite feindlicher Raketenbasen patrouillieren und aufsteigende Raketen während der

Beschleunigungsphase bekämpfen. Dies erweist sich als komplexe Aufgabe. Die modifizierte Boeing 747 soll sich nicht im gegnerischen Luftraum aufhalten, da sie durch ihre Größe und die im Vergleich zu Kampfflugzeugen geringe Geschwindigkeit gegenüber Luftabwehrmaßnahmen stärker verwundbar ist. Dadurch ergeben sich große Entfernungen zwischen Laser und Rakete. Der Strahl weitet sich zwangsläufig auf und verliert an Intensität. Deshalb wird die Rakete nicht augenblicklich zerstört, der Laser muss über mehrere Sekunden auf die Rakete fokussiert bleiben. Die Intensität des Strahls reicht nicht aus, um den Sprengkopf in der Spitze der Rakete zu zerstören. Der Sprengkopf ist für große Wärmebelastungen ausgelegt, die beim Wiedereintritt der Rakete in die Atmosphäre mit Überschallgeschwindigkeit entstehen. Daher ist geplant, den Laser gegen die relativ dünne Wand der Raketenstufe einzusetzen. Durch die Erhitzung erweicht das Wandmaterial. Durch die Beschleunigung treten Kräfte auf, die dann zum Reißen der Wand führen sollen. Bei Raketen die mit Flüssigtreibstoff betrieben werden, wird dieser Vorgang durch den internen Überdruck unterstützt. Alternativ wäre auch ein Einknicken der Wand an der erhitzten und erweichten Stelle möglich oder eine Kombination aus beiden Effekten. In beiden Fällen wird die Rakete unsteuerbar und sie kann das Ziel nicht mehr erreichen (vgl. Forden 1997).

Als großes Problem bleibt aber der immer noch funktionsfähige Sprengkopf zurück. Man spricht auch vom „short fall“-Problem. Trifft der Sprengkopf auf bewohntes Gebiet, wird beim Einschlag potentiell gefährliches Waffenmaterial freigesetzt. Im schlimmsten Fall wird der Sprengkopf sogar ausgelöst. Er trifft dann zwar nicht mehr auf das geplante Ziel, löst aber erhebliche Schäden irgendwo auf dem Weg zwischen Start und Ziel aus. Da der Airborne Laser idealerweise ebenso zwischen Start und Ziel positioniert ist, um die mögliche Einsatzdauer des Lasers zu maximieren, wird auf diese Weise die Gefährdung durch einen Einschlag im Stationierungsgebiet des ABL sogar erhöht.

6.1.1 Technische Eigenschaften des Airborne Lasers

Um die Außenwand der Rakete auf die notwendigen Temperaturen zu bringen, ist es nötig, dort Laserstrahlung hinreichender Intensität zu fokussieren. Um dies zu erreichen, muss ein System verschiedener Komponenten perfekt zusammenspielen. Da die Strahlung über große Entfernungen durch Beugungseffekte und verschiedene atmosphärische Effekte nur bis zu einem bestimmten Maß fokussiert werden kann, ist es nötig, eine Ausgangsleistung von mehreren Megawatt bereitzustellen. Zu diesem Zweck wird ein chemischer Laser verwendet. Die für den Laserprozess benötigte Energie wird dabei von einer chemischen Reaktion bereitgestellt. In diesem Fall handelt es sich um einen chemischen Sauerstoff-Jod Laser (COIL). Das Grundprinzip ist schon seit den 1970er Jahren bekannt, konnte sich aber aufgrund des komplizierten Aufbaus nicht für Anwendungen mit niedrigen Leistungen durchsetzen. Das laseraktive Element des COIL ist dabei angeregtes Jod. Der Anregungsprozess erfolgt dabei über eine komplizierte mehrstufige chemische Reaktion, bei der mit Hilfe von Wasserstoffperoxid, Natriumhydroxid, Chlor und Helium (siehe Barton u. a. 2004 S.301) angeregter Sauerstoff hergestellt wird, der

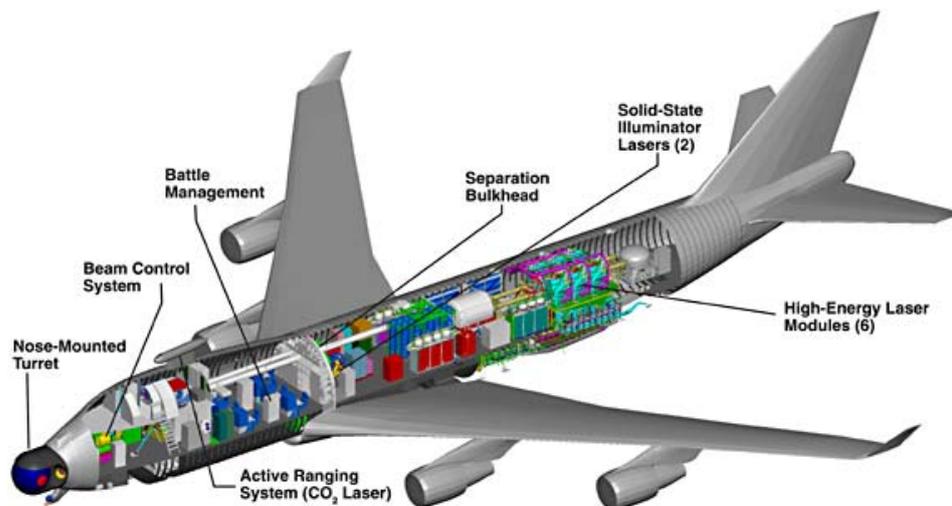


Abbildung 1: Geplanter Aufbau des Airborne Lasers. Quelle: Boeing Internetseite

in einer Überschalldüse die Anregungsenergie an das Jod abgibt. Senkrecht zum aus der Düse austretenden Gasstrom ist der optische Resonator angeordnet. Um diesen trotz der Vibrationen im Flugzeug justiert zu halten, ist eine automatisierte elektronische Nachjustierung der optischen Elemente vorgesehen. Um die Besatzung des Flugzeuges vor den aggressiven Chemikalien zu schützen, ist der Einbau eines luftdichten Schotts zwischen Laser und Besatzung geplant.

Die Strahlformung und die Ausrichtung der Strahlung auf das Ziel geschieht über ein kardanisch gelagertes Teleskop mit einer optischen Öffnung von 1,5 m Durchmesser.

Der Einsatz des ABL beginnt, sobald die Rakete die Wolkendecke durchflogen hat. Um Störungen durch atmosphärische Effekte auszugleichen, ist der Einsatz einer adaptiven Optik vorgesehen. Die eigentliche Erkennung und Verfolgung der Rakete soll durch ein System aus drei weiteren Lasern und verschiedenen Infrarotsensoren erfolgen. Die Steuerung des Gesamtsystems wird durch ein Computersystem gewährleistet. Genaue Informationen zum Aufbau finden sich in der Studie von Barton u. a. (2004), die von der American Physical Society herausgegeben wurde und bei Forden (1997). Die geplante Anordnung der Systeme im Prototyp zeigt Abbildung 1.

6.1.2 Realisierbarkeit

Für ein erfolgreiches Zusammenspiel der verschiedenen Systeme ergeben sich erhebliche Anforderungen. So war der erste Test zum Abschuss einer Rakete ursprünglich für das Jahr 2002 geplant (vgl. GAO 2005b). Nun sind nach Auskunft des Leiters der U.S. Missile Defense Agency vom 7.4.2005 (vgl. Obering 2005) Tests des Lasers am Boden für 2006 vorgesehen. Danach soll der Einbau des Lasers in das Flugzeug erfolgen. Der Abschuss von Raketen soll nun frühestens im Jahr 2008 erprobt werden. Die Vibrationen im Flugzeug werden in verschiedenen Berichten (z. B. Missilethreat.com 2005, GAO

2005a und GAO 2005b) als Hauptproblem genannt. Dadurch wird ein stabiler Betrieb des Lasers und die Ausrichtung des Strahls auf das Ziel sehr schwierig. Die American Physical Society kommt in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass der ABL gegen Raketen, die mit Flüssigkeitstreibstoff betrieben werden, einige Fähigkeiten („some capabilities“) haben könnte. Das heißt, die Studie kommt zum Ergebnis, dass ein Funktionieren des ABLs nicht ausgeschlossen werden kann. Dabei wurden „optimistische“ Grundannahmen getroffen („... , we made what we consider to be reasonable estimates ... In case of doubt we adopted the best-case scenario“; vgl. Barton u. a. 2004, S.21).

Trotzdem ergeben sich bei den Berechnungen notwendige Stationierungsgebiete für das Flugzeug, die den Einsatz bei größeren Ländern militärisch fragwürdig erscheinen lassen, da sich das Flugzeug in feindlichen Luftraum begeben müsste. Abbildung 2 (links) zeigt die Situation am Beispiel des Irans. Nur ein kleiner Abschnitt des Gebiets liegt außerhalb der Landesgrenzen. Für das kleinere Nordkorea sieht die Situation etwas anders aus (siehe Abb. 2 rechts); dort befindet sich ein größerer Teil des potentiellen Stationierungsgebietes über dem chinesischen Meer.

Bei Raketen mit Feststoffantrieb wird selbst unter diesen Bedingungen ein erfolgreicher Einsatz nicht erwartet. Das Programm wird aber weiterhin verfolgt. Das U.S. Department of Defense (2005) plant derzeit Ausgaben für das System in den Jahren 2006 bis 2011 in Höhe von 4,4 Milliarden Dollar ein.

6.1.3 Alternative Einsatzmöglichkeiten des ABL

Die Abwehr von Raketen stellt eine sehr anspruchsvolle Aufgabe dar. Es stellt sich die Frage, ob es weitere Einsatzmöglichkeiten für einen flugzeuggestützten Hochenergielaser gibt. Eine Möglichkeit wäre die Zerstörung von Satelliten. Ein Einsatz gegen Spionagesatelliten erscheint zunächst relativ einfach realisierbar. Die optischen Elemente des Satelliten sind dafür ausgerichtet, schwache Signale von Boden zu verstärken. Es ist daher davon auszugehen, dass ein fokussierter Laserstrahl starke Schäden auslöst, wenn er in eine Optik trifft. Ob dies mit den „Bordmitteln“ des ABL zu erreichen ist, da ein Satellit deutlich schwerer zu detektieren ist als eine startende Rakete, ist schwer abzuschätzen. Zumindest ist eine solche Einsatzmöglichkeit bisher nicht von offiziellen Stellen in den USA propagiert worden.

6.2 Tactical High Energy Laser

Im Gegensatz zum ABL existiert der Tactical High Energy Laser (THEL) als Prototyp. Ursprünglich zum Abschuss von Artillerieraketen (Katyusha) mit kurzer Reichweite geplant, wurde dieser inzwischen außerdem gegen Mörsergranaten und eine größere Artillerierakete erfolgreich getestet (vgl. Northrop Grumman 2004). Der THEL ist ein gemeinsames israelisch-amerikanisches Projekt.

Das System besteht aus einem Radar, dem eigentlichen Laser, einer optischen Zielverfolgungseinheit zur Detektion des Ziels und Ausrichtung des Laserstrahls und einer

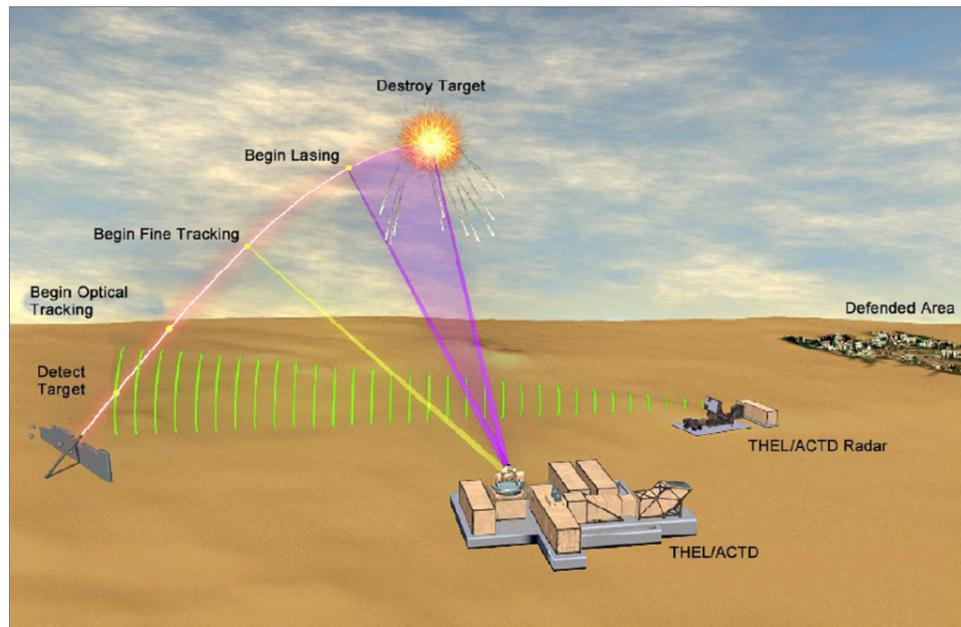


Abbildung 3: Ablauf eines THEL Einsatzes. Quelle:Shwartz u. a. 2002

publiziert. Von der im Projekt federführenden Firma wurden aber „Werbe“-Videos von Testeinsätzen des THELs veröffentlicht, in denen zu erkennen ist, dass die Zielverfolgungseinheit über einen großen Bereich schwenkbar ist (vgl. Northrop Grumman 2005). Auch der Einsatz gegen Bodenziele sollte bei entsprechender Anpassung der Steuerung möglich sein. Der THEL ist zur Zeit aber nicht als offensive Waffe einzustufen, da er im Betrieb nicht beweglich ist. Die Zielsetzung war aber die Entwicklung eines mobilen Systems MTHEL.

Die weitere Zukunft des Projekts ist zur Zeit in der Schwebe. In der Budgetplanung für 2005 war noch die Entwicklung des MTHELs bis 2009 mit einer ersten Demonstration im Jahr 2007 vorgesehen (vgl. U.S. Department of the Army 2004, S.24,27-28,33). Dafür eingeplant waren insgesamt Mittel in Höhe von 340 Millionen U.S. Dollar. Im aktuellen Budget für das Jahr 2006 (U.S. Department of the Army 2005, S.21) sind keine Mittel mehr eingeplant. Verbleibende Mittel aus dem Jahr 2005 sollen für den Programmabschluss und das Einlagern des THEL verwendet werden. Am vierten Mai 2005 hielt jedoch Northrop Grumman, die führende Firma eines Konsortiums, welches THEL und MTHEL entwickelt, eine Pressekonferenz mit dem Titel „Directed Energy: Out of the Lab – Onto the Battlefield“ ab, bei der ein Einsatz des THEL im Irak vorgeschlagen wurde. In einer Agenturmeldung heißt es darauf, „Army officials“ „scheuten“ laut Northrop Grumman vor einem Einsatz des THELs zum Schutz gegen Mörsergranaten im Irak zurück (vgl. Reuters 2005). Offiziere hätten eine Reihe von Fragen zu logistischen und Sicherheitsproblemen gehabt, die aber alle gelöst werden könnten. Auch habe Northrop Grumman ein kleineres System entwickelt, das innerhalb von zwei Jahren

im Einsatz sein könnte. Am vierten Mai waren von Seiten des Militärs niemand zu einer Stellungnahme gegenüber Reuters bereit. Aber bereits am zehnten Mai wird ein Offizier der U.S. Army von *defensetech.org* (2005) mit den Worten zitiert, von „Zurückscheuen“ könne keine Rede sein, da noch keine Entscheidung vom Pentagon gefallen sei. Man kann also davon ausgehen, dass die Firma Northrop Grumman sich mit einem Ende des MTHEL Programms noch nicht abgefunden hat und versucht eine Wiederaufnahme des Programms bzw. eine Veränderung der Budgetentscheidung für 2006 zu erreichen.

7 Zusammenfassung

Seit der Erfindung des Lasers wird Forschung zur Nutzung der Lasertechnik mit Unterstützung und im Interesse des Militärs betrieben. Die Anwendung als Wirkwaffe war, abgesehen von Laserblendwaffen, bisher nicht durchführbar. Inzwischen ist die Forschung aber soweit fortgeschritten, dass ein Prototyp wie der THEL möglich geworden ist. Eine ganze Reihe von existierenden Projekten auf dem Gebiet lässt die Entwicklung von Hochenergielasern mit Fähigkeiten als Wirkwaffen erwarten. Ob die heute propagierten Zielvorgaben wirklich erreicht werden können, ist nicht sicher, da noch erhebliche technische Schwierigkeiten überwunden werden müssen. Dies gilt insbesondere für Laserwaffen, die für große Entfernungen ausgelegt sind, wie z. B. den Airborne Laser. Dort stoßen diese Waffen an physikalische Grenzen, die selbst bei einer bestmöglichen technischen Funktionsfähigkeit die Einsatzfähigkeit fraglich erscheinen lassen, wie die Studie der American Physical Society (Barton u.a. 2004) ausführt. Trotzdem hätte allein die Existenz von Laserwaffen unter bestimmten Voraussetzungen erhebliche sicherheitspolitische Auswirkungen, wie in Abschnitt 3 ausgeführt wurde.

Um diese Auswirkungen abschätzen zu können, besteht aus Sicht der Friedensforschung und Sicherheitspolitik ein starker Forschungsbedarf. Neben Beschränkungs- oder Verbotsoptionen im Rahmen der Präventiven Rüstungskontrolle⁶ muss auch geklärt werden, welche anderen Anwendungsmöglichkeiten der Waffen neben den offiziell genannten Zielvorgaben bestehen und wie wahrscheinlich ein solcher Einsatz ist.

Es zeigt sich, dass eine Reihe von naturwissenschaftlich-technischen Fragen auftreten, ohne die sich die sicherheitspolitischen Fragestellungen nicht beantworten lassen. Unter diesem Gesichtspunkt ist das im folgenden vorgestellten Forschungsvorhaben des IFSH zu sehen.

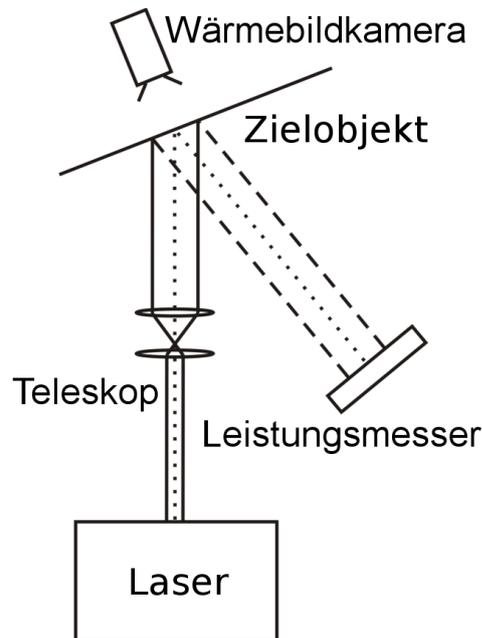


Abbildung 4: Experiment zur Überprüfung der Temperaturentwicklung in einem dünnen Blech unter Lasereinfluss.

8 Ausblick: Forschung zur Rüstungskontrolle von Laserwaffen am IFSH

Im Rahmen einer Promotion im Fach Physik finden Untersuchungen zu HochenergieLasern mit kontinuierlicher Ausgangsleistung statt, wie sie zum Beispiel im ABL zum Einsatz kommen. Die Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss von aufgeweiteter Laserstrahlung⁷ auf verschiedene Materialien.

Das Ziel ist, Systeme wie den ABL besser zu verstehen. Es soll herausgefunden werden, nach welcher Bestrahlungsdauer bei verschiedenen Intensitäten ein Materialversagen eintritt. Dann soll die Auswirkung auf Raketen bzw. Satelliten als Gesamtsystem abgeschätzt werden, d.h. wann und ob eine Rakete antriebslos wird bzw. ob Satelliten ihre Funktionsfähigkeit verlieren.

Dabei ist folgende Vorgehensweise geplant: zuerst soll die zeitliche Entwicklung der Temperatur im Ziel nach Auftreffen des Laserstrahles mit Hilfe eines Computerprogrammes modelliert werden. Dieses Modell soll mit Hilfe von skalierten Experimenten

⁶Literatur zur Präventiven Rüstungskontrolle findet sich bei Mutz u. Neuneck (1989), Petermann u. a. (1997) und Liebert u. Neuneck (1991) und (1992) .

⁷Der Durchmesser eines Laserstrahls der Wellenlänge λ vergrößert sich mit der Entfernung L auf mindestens $L\lambda/D$, wobei D der Durchmesser der Strahlaustrittsöffnung des Lasers ist. Nimmt man eine Entfernung von $L = 500$ km an und setzt die Daten des ABL ein, also Wellenlänge $\lambda = 1,315$ μm und Öffnungsdurchmesser $D = 1,5$ m, ergibt sich ein Durchmesser von mindestens 0,44 m.

überprüft und verbessert werden, wie sie beispielhaft in Abbildung 4 dargestellt werden. Zur Durchführung dieser Experimente wurde eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Laser- und Anlagentechnik (2LAS) der Technischen Universität Hamburg-Harburg vereinbart, das die notwendige Anlagentechnik zur Verfügung stellt. Als dritter Abschnitt folgt die Untersuchung der Auswirkungen der Materialveränderung auf die Gesamtsysteme Rakete und Satellit. Am Schluss folgt eine sicherheitspolitische Analyse der Ergebnisse. Insbesondere sollen hier die Möglichkeiten für Präventive Rüstungskontrolle von Laserwaffen untersucht werden.

9 Danksagung

Die Autoren möchten sich bei Björn Michaelsen (Institut für Laserphysik der Universität Hamburg) für seine Hilfe bei der Vorbereitung des Vortrages „Laser als Waffensysteme“ bedanken, den die Autoren bei der Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 2005 im Rahmen des Arbeitskreises Physik und Abrüstung vorgestellt haben und auf dem dieser Bericht basiert. Weiterhin geht unser Dank an Achim Maas für Korrekturen und Anregungen. Unser Dank für ihre Unterstützung beim skizzierten Forschungsvorhaben geht an Prof. Dr.-Ing. C. Emmelmann (Technische Universität Hamburg-Harburg) und Prof. Dr. H. Spitzer (Universität Hamburg).

Literatur

Air Force Museum 2002

NATIONAL MUSEUM OF THE UNITED STATES AIR FORCE (Hrsg.): *Texas Instruments BOLT-117 Laser Guided Bomb*. Version: 10. Okt. 2002. <http://www.wpafb.af.mil/museum/arm/arm21.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 30. April 2005

Altmann 1994

ALTMANN, Jürgen: Verifying Limits on Research and Development - Case Studies: Beam Weapons, Electromagnetic Guns. In: ALTMANN, Jürgen (Hrsg.) ; STOCK, Thomas (Hrsg.) ; STROOT, Jean-Pierre (Hrsg.): *Verification After the Cold War: Broadening the Process*. Amsterdam, NL. : V.U. Uitgeverij, 1994, S. 225–233

Anderberg u. Wolbarsht 1992

ANDERBERG, Bengt ; WOLBARSHT, Myron L.: *Laser Weapons: The Dawn of a New Military Age*. New York, NY, U.S. : Plenum Press, 1992

Argall u. Sica 2003

ARGALL, PS ; SICA, RJ: Lidar (Laser Radar). In: BROWN, Thomas G. (Hrsg.) ; WEBER, Marvin J. (Hrsg.) ; SCHMIT, Joanna (Hrsg.) ; KOGELNIK, Herwig (Hrsg.) ; CREATH, Katherine (Hrsg.): *Optics Encyclopedia: Basic Foundations and Practical*

Applications Bd. 2 G-L. Wiley-VCH, 1305-1322. <http://pcl.physics.uwo.ca/pclhtml/pub/LidarPapers/Argall-Encyc-Optics.pdf>

Arkin u. Peters 1995

ARKIN, William M. ; PETERS, Ann: U.S. Blinding Laser Weapons. In: *Human Rights Watch Arms Project* 7 (1995), Mai, Nr. 5. <http://www.hrw.org/reports/1995/Us2.htm>

Aviation Week 2004

Germans Come Closer To a Laser Weapon. Version:12. Mai 2004. http://www.aviationweek.com/shownews/04ila/images/sn_ila04_3.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005. – Aviation Week Show News zur ILA (Berlin) S.13

Barton u. a. 2004

BARTON, David K. ; FALCONE, Roger ; KLEPPNER, Daniel ; LAMB, Frederick K. ; LAU, Ming K. ; LYNCH, Harvey L. ; MONCTON, David ; MONTAGUE, David ; MOSHER, David E. ; PRIEDHORSKY, William ; TIGNER, Maury ; VAUGHAN, David R.: Report of the American Physical Society Study Group on Boost-Phase Intercept Systems for National Missile Defense: Scientific and Technical Issues. In: *Reviews of Modern Physics* 76 (2004), Nr. 3, 1-. http://www.aps.org/public_affairs/popa/reports/nmd03.cfm

BDLI 2004

BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN LUFT- UND RAUMFAHRTINDUSTRIE E. V. (Hrsg.): *EADS-LFK erforscht Lasertechnologie- Deutscher Know-how-Vorsprung mit „MEL-COIL“*. Version: März 2004. http://www.bdli.de/index.php?option=com_docman&task=docclick&Itemid=108&bid=14&limitstart=0&limit=12. LRI Fakten - 03/2004 Informationen aus der Luft- und Raumfahrtindustrie. – Online-Ressource

Braid u. a. 1990

BRAID, T.H. ; DE VOLPI, D. ; HERZENBERG, C.L. ; RINGO, G.R. ; STANFORD, G.S.: Laser Brightness Verification. In: *Science and Global Security* 2 (1990), Nr. 1, 59-78. http://www.princeton.edu/%7Eglobsec/publications/pdf/2_1Braid.pdf

CEA 2003

CEA: *Defense.* Version: 2003. www.cea.fr/gb/publications/AnnualReport/ra2003/UK_p10-13.pdf. – Online-Ressource. – Englische Version eines Abschnitt aus dem Jahresbericht 2003 der französischen Atomenergiebehörde CEA (commissariat à l'énergie atomique).

defensetech.org 2005

DEFENSETECH.ORG: *RAY GUN TWO STEP: LASERS TO IRAQ?* Version: 10. Mai

2005. <http://www.defensetech.org/archives/001540.html>. – Online-Ressource, Abruf: 12. Mai 2005

DLR 2003

Institute und Einrichtungen: Institut für Technische Physik. Version: 28. März 2003. http://www.dlr.de/tp/publikationen/handout/handout/itp_handout.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005

Doswald-Beck 1996

DOSWALD-BECK, Louise: New Protocol on Blinding Laser Weapons. In: *International Review of the Red Cross* 310 (1996), Januar-Februar, S. 285

Forden 1997

FORDEN, Geoffrey: Ballistic Missile Defense: The Airborne Laser. In: *IEEE Spectrum* 34 (1997), September

GAO 2005a

UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE (Hrsg.): Defense Acquisitions: Assessments of Selected Major Weapon Programs. 2005 (GAO-05-301). – Report to Congressional Committees. <http://www.gao.gov/new.items/d05301.pdf>

GAO 2005b

UNITED STATES GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE (Hrsg.): Defense Acquisitions: Status of Ballistic Missile Defense Program in 2004. 2005 (GAO-05-243). – Report to Congressional Committees. <http://www.gao.gov/new.items/d05243.pdf>

GlobalSecurity.org 2004

GLOBALSECURITY.ORG (Hrsg.): *M1 Abrams Main Battle Tank.* Version: 29. März 2004. <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/m1-intro.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 30. April 2005

GlobalSecurity.org 2005

GLOBALSECURITY.ORG (Hrsg.): *BOLT-117 (BOmb, Laser Terminal-117).* Version: 13. März 2005. <http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/bolt-117.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 30. April 2005

Gourley 2004

GOURLEY, Scott R.: Zeus-Humvee Laser Ordnance Neutralization System. In: *Army Magazine* 54 (2004), Dezember, Nr. 12. http://www.findarticles.com/p/articles/mi_qa3723/is_200412/ai_n9471740

von Hippel 1989

HIPPEL, Frank von: A visit to Sary Shagan and Kyshtym. In: *Science and Global Security* 1 (1989), Nr. 1-2, 165-174. http://www.princeton.edu/~globsec/publications/pdf/1_1-2vonHippelA.pdf

IKRK Vertragsdatenbank

Vertragsdatenbank des Internationalen Komitees vom Roten Kreuz. <http://www.icrc.org/ihl.nsf/WebFULL?OpenView>. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005

Jack H. McCall 1997

JACK H. MCCALL, Jr.: Blinded by the Light: International Law and the Legality of Anti-Optic Laser Weapons. In: *Cornell international law journal* 30 (1997), Nr. 1, S. 1–44. – ISSN 0010–8812

Lambeth 2003

LAMBETH, Benjamin S.: *Mastering the Ultimate High Ground: Next Steps in the Military Use of Space*. Rand Project Air Force <http://www.rand.org/publications/MR/MR1649/MR1649.pdf>

Liebert u. Neuneck 1991

LIEBERT, Wolfgang ; NEUNECK, Götz: Wissenschaft und Technologie als Faktoren der Rüstungsdynamik. In: MÜLLER, Erwin (Hrsg.) ; NEUNECK, Götz (Hrsg.): *Rüstungsmodernisierung und Rüstungskontrolle: : neue Technologien, Rüstungsdynamik und Stabilität*. Baden-Baden : Nomos, 1991 (Militär, Rüstung, Sicherheit 69), S. 45–60

Liebert u. Neuneck 1992

LIEBERT, Wolfgang ; NEUNECK, Götz: Civil-Military Ambivalence of Science and the Problem of Qualitative Arms Control: An Example of Laser Isotope Separation. In: BRAUCH, H.-G. (Hrsg.) ; GRAAF, H. J. d. (Hrsg.) ; GRIN, J. (Hrsg.) ; SMIT, W. A. (Hrsg.): *Controlling the development and spread of military technology : lessons from the past and challenges for the 1990s*. Amsterdam : VU Univ. Press, 1992

Missilethreat.com 2005

CLAREMONT INSTITUTE (Hrsg.): *Airborne Laser (ABL)*. Version: 2005. http://www.missilethreat.com/systems/abl_usa.html. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005

Mutz u. Neuneck 1989

MUTZ, Reinhard ; NEUNECK, Götz: Rüstungsmodernisierung und qualitative Rüstungskontrolle. In: BAHR, Egon (Hrsg.) ; KRELL, G. (Hrsg.) ; SCHUBER, K. von (Hrsg.): *Friedensgutachten 1989*. Hamburg : Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg, 1989, S. 129–139

Neuneck 2001

NEUNECK, Götz: PHYSIK UND ABRÜSTUNG - Neue Waffentechniken und Rüstungskontrolle. In: *Physik in unserer Zeit* 32 (2001), Nr. 1, S. 10–17. – ISSN 0031–9252

Nielsen 2003

NIELSEN, Philip E.: *Effects of Directed Energy Weapons*. National Defense University Press <http://www.ndu.edu/ctnsp/Nielsen-EDEW.pdf>

Northrop Grumman 2004

Presseerklärung: Northrop Grumman-Built High-Energy Laser Destroys Large-Caliber Rocket in History-Making Test. Version: 5. Mai 2004. http://www.irconnect.com/noc/press/pages/news_releases.mhtml?d=57129. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005

Northrop Grumman 2005

NORTHROP GRUMMAN: *Press Kit Lists: Tactical High Energy Laser - Media Gallery*. Version: 2005. <http://www.st.northropgrumman.com/media/MediaGallery.cfm?MediaType=Videos&PressKit=23>. – Online-Ressource, Abruf: 11. Mai 2005

Obering 2005

OBERING, Henry A.: *Missile Defense Program and Fiscal Year 2006 Budget*. Version: 7. April 2005. http://www.senate.gov/~armed_services/statemnt/2005/April/Obering%2004-07-05.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005. – Vorbereitete Aussage von Lieutenant General Henry A. Obering III (USAF), dem Direktor der Missile Defense Agency vor dem Strategic Forces Subcommittee des Senate Armed Services Committee am 7. April 2005.

Petermann u. a. 1997

PETERMANN, Thomas ; SOCHER, Martin ; WENNRICH, Christine: *Präventive Rüstungskontrolle bei Neuen Technologien. Utopie oder Notwendigkeit?* Berlin : Edition Sigma, 1997 (Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag 3)

Peters 1995

PETERS, Ann: Blinding laser weapons: The need to ban a cruel and inhumane weapon. In: *Human Rights Watch Arms Project* 7 (1995), September, Nr. 1, S. 1–49

Prilutsky u. Fomenkova 1990

PRILUTSKY, Oleg F. ; FOMENKOVA, M.N.: Laser Beam Scattering in the Atmosphere. In: *Science and Global Security* 2 (1990), Nr. 1, 79-86. http://www.princeton.edu/%7Eglobsec/publications/pdf/2_1Pilutsky.pdf

quid.fr 2000

Armes à faisceaux de particules et lasers. Version: 2000. <http://www.quid.fr/2000/Q055040.htm>. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005

Reuters 2005

REUTERS (Hrsg.): *U.S. Army balks at sending laser weapon to Iraq*. Version: 4. Mai

2005. <http://www.reuters.com/newsArticle.jhtml?type=topNews&storyID=8390401>. – Online-Ressource, Abruf: 15. Mai 2005

Rheinmetall DeTec AG 2004

Rheinmetall-DeTec AG: Geschäftsbericht 2003. 2004

Risk u. a. 2003

RISK, W. P. ; GOSNELL, T. R. ; NURMIKKO, A. V.: *Compact Blue-Green Lasers (Cambridge Studies in Modern Optics)*. Cambridge University Press <http://www.loc.gov/catdir/samples/cam034/2003268603.pdf>

Shachtman 2005

SHACHTMAN, Noah ; MILITARY.COM AND DEFENSE TECH.ORG (Hrsg.): *Call it a comeback: Laser Hummer*. Version: 2005. http://www.military.com/soldiertech/0,14632,Soldiertech_Laser,,00.html. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005

Shwartz u. a. 2002

SHWARTZ, Josef ; WILSON, Gerald T. ; AVIDOR, Joel M.: Tactical high-energy laser. In: BASU, Santanu (Hrsg.) ; RIKER, James F. (Hrsg.): *Proceedings of SPIE Laser and Beam Control Technologies* Bd. 4632, SPIE, http://www.st.northropgrumman.com/media/SiteFiles/mediagallery/factsheet/SPIE_Manuscript_Tactical_high-energy_laser.pdf

Stallard 2003

STALLARD, Avan: *Blinding Laser Weapons. Lethal or otherwise?* Version: 27. Mai 2003. <http://www.bark.net.au/Globalisation/gloart10.htm>. – Online-Ressource

U.S. Defense Threat Reduction Agency 2000

U.S. DEFENSE THREAT REDUCTION AGENCY: Section 11: Lasers and Optics Technology. In: *Developing Science and Technologies List*. US Department of Defense, www.dtic.mil/mctl/DSTL/DSTL_Sec11.pdf

U.S. Department of Defense 1997

DoD News Briefing Thursday, October 23, 1997 - 2 p.m. (EDT) Mr. Kenneth H. Bacon, ASD (PA). Version: Oktober 1997. http://www.defenselink.mil/transcripts/1997/t10231997_t1023asd.html. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005. – Protokoll der Pressekonferenz des Assistant Secretary of Defense Kenneth H. Bacon vom 23.10.1997

U.S. Department of Defense 2001

U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE: *Defense Science Board Task Force on High*

Energy Laser Weapon Systems Applications (SuDoc D 1.107:2002017434). Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics <http://www.acq.osd.mil/dsb/reports/rephel.pdf>

U.S. Department of Defense 2005

U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE: *FY 2006/FY 2007 Budget Estimates: Volume 2 - Missile Defense Agency*. Version: März 2005. http://www.dod.mil/comptroller/defbudget/fy2006/budget_justification/pdfs/rdtande/MDA_PB06_07_Budget_Submission.pdf. – Online-Ressource, Abruf: 11. Mai 2005

U.S. Department of the Army 2004

OFFICE OF THE SECRETARY OF THE ARMY (FINANCIAL MANAGEMENT AND COMPTROLLER); DEPARTMENT OF THE ARMY (Hrsg.): *Supporting Data FY 2005 President's Budget Submitted to OSD - Descriptive Summaries of the Research, Development, Test and Evaluation Army Appropriation, Budget Activities 4 and 5 - VOLUME II*. Version: Februar 2004. <http://www.asafm.army.mil/budget/fybm/FY05/rforms/vol2.pdf>. – Online-Ressource, Abruf: 12. Mai 2005

U.S. Department of the Army 2005

OFFICE OF THE SECRETARY OF THE ARMY (FINANCIAL MANAGEMENT AND COMPTROLLER); DEPARTMENT OF THE ARMY (Hrsg.): *Supporting Data FY 2006/2007 President's Budget Submitted to OSD - Descriptive Summaries of the Research, Development, Test and Evaluation Army Appropriation, Budget Activities 4 and 5 - Volume II*. Version: Februar 2005. <http://www.asafm.army.mil/budget/fybm/FY06-07/rforms/vol2.zip>. – Online-Ressource

Wollmann 2003

WOLLMANN, Gerd ; RHEINMETALL DETEC AG (Hrsg.): *Strahlenwaffen schließen Lücken: Dr. Gerd Wollmann über Lasertechnik und Hochleistungsmikrowelle*. Version: 2003. <http://www.rheinmetall-detec.de/index.php?lang=2&fid=444>. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005

WTD91 2004

WEHRTECHNISCHE DIENSTSTELLE FÜR WAFFEN UND MUNITION (WTD91) (Hrsg.): *Mittelenergie-Lasertechnik*. Version: 22. April 2004. <http://www.bwb.org/C1256DF2004FF94C/vwContentByKey/W25YAC4W930INF0DE>. – Online-Ressource, Abruf: 5. Mai 2005

Working Paper von IFAR:

WORKING PAPER #1:
Präventive Rüstungskontrolle

WORKING PAPER #2:
Die Raketenprogramme Chinas, Indiens und Pakistans sowie Nordkoreas – Das Erbe der V-2 in Asien

WORKING PAPER #3:
Weapons of Mass Destruction in the Near and Middle East - After the Iraq War 2003

WORKING PAPER #4:
Streitkräftemodernisierung und ihre Auswirkungen auf militärische Bündnispartner

WORKING PAPER #5:
Der Schutz Kritischer Infrastrukturen

WORKING PAPER #6:
Terrorgefahr und die Verwundbarkeit moderner Industriestaaten: Wie gut ist Deutschland vorbereitet?

WORKING PAPER #7:
Die Vereinigten Staaten und Internationale Rüstungskontrollabkommen

WORKING PAPER #8:
Auf dem Weg zu einer einheitlichen europäischen Rüstungspolitik?

WORKING PAPER #9:
Laser als Waffensysteme?

Kontakt:
Götz Neuneck
Interdisziplinäre Forschungsgruppe Abrüstung und Rüstungskontrolle IFAR
Institute for Peace Research and Security Policy at the University of Hamburg
Falkenstein 1, 22587 Hamburg
Tel: +49 40 866 077-0 Fax: +49 40 866 36 15
ifar@ifsh.de www.ifsh.de
Webpage zur Rüstungskontrolle: www.armscontrol.de