

# Verifikation eines möglichen Begrenzungsabkommens für konventionelle Weltraumwaffen

Masterarbeit  
zur Erlangung des Titels „Master of Peace and Security Studies /  
Friedensforschung und Sicherheitspolitik“ (M.P.S.)

vorgelegt von  
Dr. rer. nat. Marcel Dickow  
aus Hamburg, Bundesrepublik Deutschland

Hamburg, Juli 2006

Gutachter:

Dr. rer. nat. G. Neuneck  
Prof. Dr. Dr. H.-J. Giessmann



## **Verifikation eines möglichen Begrenzungsabkommens für konventionelle Weltraumwaffen**

Dr. rer. nat. Marcel Dickow

### **Zusammenfassung:**

Derzeit existiert kein Vertrag zur Begrenzung oder zum Verbot von konventionellen Weltraumwaffen. Diese Arbeit diskutiert den politischen und technischen Kontext einiger erwogener Konzepte wie Space Security, Space Surveillance und einer internationalen Weltraumagentur, beleuchtet politisch motivierte Vertragsentwürfe der vergangenen Jahre und benennt erforderliche Verbotstatbestände. Das breite Spektrum denkbarer Weltraumwaffensysteme wird technisch und nach physikalischer Wirkungsweise strukturiert und Risikoabschätzungen unterzogen. Mögliche Verifikationsmechanismen in zeitlicher und räumlicher Dimension werden herausgearbeitet und anschließend auf die erwähnten Systeme und Komponenten von Weltraumwaffen angewandt. Durch eine Verifikationsmatrix, die auch Eindringtiefe (*Intrusiveness*), Detektionswahrscheinlichkeit und Kostenintensität abschätzt, kann das Ergebnis flexibel für mögliche Vertragssysteme bzw. Verifikationsregime abgelesen werden. Mit einem Vorschlag für ein Design eines solchen Verifikationsregimes soll schließlich ein Diskussionsprozess initiiert werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1. Ausgangslage . . . . .	6
1.2. Politische und wissenschaftliche Relevanz . . . . .	8
1.3. Fragestellung und Ziel der Arbeit . . . . .	9
1.4. Gliederung der Arbeit . . . . .	11
1.5. Methodik der Arbeit . . . . .	11
<b>2. Auf dem Weg zu Regeln für Weltraumtechnologien</b>	<b>13</b>
2.1. Space Security . . . . .	14
2.1.1. Space Debris - Weltraumschrott . . . . .	15
2.1.2. Space Surveillance Systems (SSS) . . . . .	17
2.1.3. Space Traffic Management - Verkehrsmanagement im Welt- raum . . . . .	19
2.2. Confidence and Security Building Measures . . . . .	20
2.3. Die Internationale Weltraum-Agentur . . . . .	21
<b>3. Mögliche Vertragsentwürfe für ein Begrenzungsabkommen</b>	<b>23</b>
3.1. Verbotstatbestände in unterschiedlichen Vertragsentwürfen . . . . .	24
<b>4. Weltraumwaffen</b>	<b>28</b>
4.1. Klassifizierung von Weltraumwaffen nach ihrer Wirkungsweise . . . . .	29
4.1.1. Kinetic Energy Weapons - KEW . . . . .	30
4.1.2. Direct Energy Weapons - DEW . . . . .	30
4.1.3. Nuclear Weapons - NW . . . . .	31
4.1.4. Sonstige Waffen . . . . .	31
4.2. Klassifizierung von Weltraumwaffensystemen nach Einsatzgebiet . . . . .	33
4.2.1. Ground to Space (G2S) - Waffensysteme . . . . .	33
4.2.2. Space to Space (S2S) - Waffensysteme . . . . .	34
4.2.3. Space to Ground (S2G) - Waffensysteme . . . . .	35
4.2.4. Ground to Ground (G2G) - Waffensysteme . . . . .	35

---

<b>5. Verifikationsmaßnahmen</b>	<b>37</b>
5.1. Mögliche Verifikationsmechanismen . . . . .	40
5.1.1. Verifikationsrelevante Phasen im Produktzyklus von Welt- raumwaffen . . . . .	40
5.1.2. Methoden der Verifikation . . . . .	44
5.2. Verifikation Weltraum-basierter Waffensysteme . . . . .	52
5.2.1. Zielunabhängige Waffensysteme . . . . .	52
5.2.2. Space to Space (S2S) - Waffensysteme . . . . .	55
5.3. Verifikation Boden- und Luft-basierter Waffensysteme . . . . .	58
5.3.1. Zielunabhängige Waffensysteme . . . . .	58
5.3.2. Ground to Space (G2S) - Waffensysteme . . . . .	59
5.3.3. Ground to Ground (G2G) - Waffensysteme . . . . .	60
5.4. Matrix der Komponenten eines Verifikationsregime . . . . .	61
5.4.1. Entwurf eines Punktesystems für die Verifikation . . . . .	64
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>67</b>
<b>7. Danksagung</b>	<b>69</b>
<b>A. Benutzte Literatur zu Fragen der Verifikation</b>	<b>71</b>
<b>B. Definitionen für den Begriff Weltraumwaffe</b>	<b>73</b>
B.1. Götz Neuneck und André Rothkirch . . . . .	73
B.2. Ambassador Leonid A. Skotnikov . . . . .	73
B.3. Bhupendra Jasani . . . . .	73
B.4. Chinesische UN-CD-Delegation . . . . .	74
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>75</b>
<b>Index</b>	<b>76</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>79</b>

# 1. Einleitung

We cannot view the expanse of space as another battleground for our Earthly conflicts.

---

*Kofi Annan, Generalsekretär der Vereinten Nationen*

Die vorliegende Masterarbeit, die am Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg (IFSH) entstanden ist, thematisiert die Verifikationsaspekte eines möglichen Verbotsvertrages für Weltraumwaffen. Nur wenig Aufmerksamkeit ist diesem Bereich bisher gewidmet worden, vor allem beim *United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR)* wurde dazu seit dem Beginn der 1990er Jahre geforscht. Die vorliegende Arbeit möchte an diese Serie anknüpfen und einige Teilaspekte hinzufügen.

## 1.1. Ausgangslage

Am 27. Januar 1967 wurde der so genannte Weltraumvertrag (*Outer Space Treaty*, im Folgenden als OST bezeichnet), mit vollem Namen „*Treaty on Principles Governing the Activity of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and other Celestial Bodies*“, verabschiedet. Sein 40. Jahrestag (im Januar 2007) gibt Anlass zur Würdigung, kritischen Betrachtung und zum Nachdenken über die Weiterentwicklung der dort festgeschriebenen völkerrechtlichen Grundsätze und Ideen. Nach dem Antarktis Vertrag von 1961 ist der OST der zweite internationale Vertrag, der in der Hauptsache nicht rüstungskontrollpolitische Gegenstände behandelt. Im Kreise (nicht nur) deutscher Diplomaten wird bezweifelt, dass sein Inhalt in dieser Form heutzutage, trotz Wegfall der Polarisierung des Ost-West-Konflikts, verabschiedbar wäre, in den Augen des Autors eine realistische Einschätzung. Dies unterstreicht die Bedeutung dieser inzwischen zur völkerrechtlichen Norm gewordenen Vereinbarung.

Rüstungskontrolle wird im OST nur durch Artikel IV adressiert:

**Article IV**

*States Parties to the Treaty undertake not to place in orbit around the Earth any objects carrying nuclear weapons or any other kinds of weapons of mass destruction, install such weapons on celestial bodies, or station such weapons in outer space in any other manner. The Moon and other celestial bodies shall be used by all States Parties to the Treaty exclusively for peaceful purposes. The establishment of military bases, installations and fortifications, the testing of any type of weapons and the conduct of military maneuvers on celestial bodies shall be forbidden. The use of military personnel for scientific research or for any other peaceful purposes shall not be prohibited. The use of any equipment or facility necessary for peaceful exploration of the Moon and other celestial bodies shall also not be prohibited.*

Jenseits des Verbots, Massenvernichtungswaffen (*Weapons of Mass Destruction*, im Folgenden mit WMD abgekürzt) im Weltraum, d.h. unter anderem im Erdorbit zu stationieren, werden keine Beschränkungen von anderen Waffensystemen, z.B. Boden-, See-, Luft- oder Weltraum-gestützte konventionelle Waffen, Anti-Satelliten- (im Folgenden ASAT genannt) oder Anti-Raketen-Waffen vorgenommen. 39 Jahre nach Inkrafttreten des Vertrages hat sich an dieser Tatsache nichts geändert, die Militarisierung des Weltraumes durch so genannte nationale technische Mittel (*National Technical Means*, im Folgenden mit NTM abgekürzt) ist in vollem Gange, lediglich aktive Waffensystem der konventionellen Art sind bisher nicht orbital. Gleichzeitig gewinnen zivile und militärische Weltraumanwendungen an Bedeutung, Industrie- und Schwellenländer begeben sich in eine unumkehrbare technische Abhängigkeit in Bereichen wie Kommunikation, Navigation, militärischer Aufklärung und ziviler Fernerkundung sowie Positionsbestimmung, die durch die Vulnerabilität der genutzten Infrastruktur konterkariert wird. Passiver Schutz der Systeme (z.B. Härtung gegen elektromagnetische Strahlung) wird erwogen und zum Teil bereits praktiziert, Maßnahmen die eine Bedrohung durch Weltraumwaffen (konventionell oder nuklear) implizit antizipieren. Noch steht der Erweiterung der klassischen Triade, Boden-See-Luft, um eine vierte Dimension - Weltraum - die Hürde der technischen Realisierung im tragbaren Kostengewand entgegen. Wenige Staaten sind in der Lage oder politisch gewillt, den enormen finanziellen Aufwand einer begrenzten und fraglichen Wirkung vorzuziehen - die politische Wirkung einer Bewaffnung des Weltraums einmal außer Acht gelassen. Vor allem die Vereinigten Staaten von Amerika erwägen so geartete Schritte und lassen diese

Planungen in die Staatshaushalte der letzten Jahre einfließen (siehe [HKHS06]). Kann die internationale Staatengemeinschaft der Entwicklung zusehen, ohne völkerrechtlich bindende Vereinbarungen zu treffen, um einen Rüstungswettlauf im Weltall zu verhindern, mindestens aber die Rüstungsanstrengungen zu begrenzen und einzuhegen? Dieser Frage sind viele wissenschaftliche Veröffentlichungen, die PAROS<sup>1</sup>-Debatte und die Genfer Abrüstungskonferenz der UN (*Conference on Disarmament*, im Folgenden abgekürzt als UN-CD) nachgegangen. Vorschläge für ein Begrenzungsabkommen werden in Kapitel 3 ab Seite 23 beispielhaft diskutiert. Ohne eine politisch gewollte und technisch umsetzbare Verifikation sind sie jedoch ein stumpfes Schwert im Sinne der Rüstungskontrolle, sollte jemals einer von ihnen verbindlich werden. Neben der politischen Dimension eines möglichen Rüstungskontrollvertrages für konventionelle Weltraumwaffen bleibt die technische Umsetzung eines zugehörigen Verifikationsregimes eine bisher vernachlässigte Frage.

### 1.2. Politische und wissenschaftliche Relevanz

So genannte Rüstungskontrollverträge können die ihnen zugedachte Rolle nur dann erfüllen, wenn alle Vertragspartner gewillt sind, sich den zugehörigen Verifikationsmechanismen zu unterwerfen. Diese sind ein Politikum und gehen weit über das technische Eindringen in die Souveränität eines Staates hinaus. Was im Vertragswerk bloße Absichtserklärung ist, wird im Zusammenspiel von Deklaration und Verifikation mit harter politischer Realität gefüllt. Das Ringen um den Beitritt des Iran zum *Additional Protocol* der IAEA Safeguards und die Verhandlungen in der UN-CD zum Produktionsstoppvertrag für spaltbares Material (*Fissile Material Cut-Off Treaty*, im Folgenden FMCT genannt), die im Mai 2006 durch einen Vorschlag der USA, der einen Vertrag ohne Verifikation vorsieht, wiederbelebt wurden, zeigen dies deutlich.

Ein Abkommen zum Verbot oder zur Begrenzung von konventionellen Weltraumwaffen ist wegen der technologischen Komplexität und ihrem Dual-Use-Charakter ebenso wie die Nukleartechnik schwierig eindeutig zu verifizieren. Diese Hürden müssen sich nicht nur im Überprüfungsregime sondern auch im Vertragstext selbst widerspiegeln. Schon im politischen Verhandlungsprozess, und die Diskussion in der Genfer UN-CD belegt dies, bekommen die techni-

---

<sup>1</sup>*Prevention of an Arms Race in Outer Space* - siehe u.a. UN Vollversammlung Resolution A/RES/49/74 vom 19.12.1994

schen Fragen eine nicht unerhebliche Bedeutung beigemessen. Der Kanadische Botschafter bei der UN-CD in Genf, Paul Meyer, erklärte am 26. August 2004 anlässlich eines gemeinsamen russisch-chinesischen Arbeitspapiers zu PAROS (CD/1679):

*[...] Canada also believes that verification provisions must be included in any space weapons ban as a necessary element of any eventual treaty. [...] We are also the view that deciding to negotiate a space weapons ban without verification provisions, in the hope of adding them later, would only make such provisions more difficult to achieve in the long run. Witness the sad experience of the proposed Verification Protocol to the BTWC in this context. [Mey04]*

Es bleibt also auch Aufgabe der unabhängigen Wissenschaft, den Prozess mit politikwissenschaftlichen und technischen Konzepten zu unterfüttern, die Angemessenheit und Machbarkeit miteinander vereinbaren.

Welche technischen Möglichkeiten welche Verifikationsaufgaben erfüllen können, wie ihre Eindringtiefe (*Intrusiveness*) angemessen im Verhältnis zur Aufgabe von (staatlicher) Souveränität bzw. industriellem Erkenntnisschutz steht, welche Risiken bleiben und wie viel Vertrauensbildung von Nöten ist, das bewegt sich im Grenzgebiet zwischen Naturwissenschaft und Technik auf der einen und Diplomatie bzw. Politikwissenschaft auf der anderen Seite. Nach mehr als einem Jahrzehnt Stillstand auf letzterem Feld könnte ersteres einen neuen Input für die festgefahrenen Verhandlungen bringen.

### 1.3. Fragestellung und Ziel der Arbeit

Obwohl einige Vorschläge mit variierendem Detailreichtum für ein Verbot oder eine Begrenzung von Weltraumwaffen bekannt sind und diskutiert wurden, fällt es schwer Aussagen darüber zu treffen, ob es jemals zu einem völkerrechtlich verbindlichen Vertrag kommen und wie dieser inhaltlich ausgestaltet sein wird. Leichter lässt sich die Frage beantworten, ob eine wirksame Verifikation realisierbar ist und welche Bestandteile sie aufweisen muss. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Überblick über die bestehenden und geplanten Weltraumwaffensysteme und die technischen Möglichkeiten ihrer Verifikation zu geben. Die einzelnen Technologien sollen bezüglich der Verifikation einer Risikoabschätzung unterzogen und ein beispielhaftes Verifikationsregime vorgeschlagen werden. Dabei ergeben sich zwei technische und eine politische Leitfrage, die im Zuge der Arbeit beantwortet werden sollen:

1. Welche Art von Weltraumwaffen existieren? Wie können sie im Rahmen eines Verbotsvertrages technisch verifiziert werden und welches Risiko ist mit der Methode der Überprüfung verbunden?
2. Wie ordnen sich die einzelnen Verifikationsmechanismen in ein Regime ein, welche zusätzlichen (freiwilligen) Maßnahmen sollten hinzugezogen werden?
3. Wie viel technische und politische Sicherheit ergibt ein solches Verifikationsregime, in welchem Maße sind die vorgeschlagenen Mittel vertrauensbildend, intrusiv und/oder risikobehaftet?

Der Nichtweiterverbreitungsvertrag (*Nuclear Non-Proliferation Treaty*, im Folgenden NPT genannt) bietet mit dem *Additional Protocol* ein effektives, zum Teil stark invasives, d.h. in die Souveränitätsrechte eines Staates eingreifendes Verifikationsinstrument, das dennoch immer wieder Anlass für politische Auseinandersetzungen bietet, sei es in der Ratifizierung/Anwendung oder in der Umsetzung<sup>2</sup>. Können solche Schwierigkeiten zum Beispiel durch ein Punktesystem, wie es in Kapitel 5.4.1 ab Seite 64 vorgeschlagen wird, gelöst werden? Diese Frage kann im Rahmen meiner Arbeit nicht beantwortet werden, allerdings soll der hier eingebrachte Vorschlag eine Diskussion anregen, die nach gut 10 Jahren Erfahrung mit dem *Additional Protocol* ein *Lessens-learn*t-Prozess hinsichtlich der Verifikation eines Verbotsvertrages für Weltraumwaffen initiieren könnte.

Wie in Kapitel 3 ab Seite 23 noch ausgeführt wird, gehen die Meinungen über eine Vorgehensweise für ein Verbot von Weltraumwaffen (selbst in der Bundesrepublik Deutschland) weit auseinander. Auch ein schrittweiser Prozess über Memoranden, vertrauensbildende Maßnahmen und politische Erklärungen ohne einen völkerrechtlich bindenden Vertrag kann von der Integration einzelner Verifikationsmaßnahmen auf freiwilliger Basis profitieren. In Kapitel 5.4 ab Seite 61 sollen deshalb einzelne Instrumente hinsichtlich dieser Vorgehensweise benannt werden.

---

<sup>2</sup>Der Iran hat, ohne das *Additional Protocol* ratifiziert zu haben, von 2003 bis 2004 eine Verifikation nach vergleichbaren Maßstäben zugelassen, ohne dass das Misstrauen in seine politischen Absichten bezüglich der Nuklearpolitik nachgelassen hätte. Vergl. dazu auch [IIS05]

## 1.4. Gliederung der Arbeit

Die Arbeit ist in 6 Kapitel unterteilt. Nach der Einleitung (Kapitel 1) wird ab Seite 13 in Kapitel 2 eine kurze Einführung in regelnde politische Konzepte gegeben, die in Bezug auf Weltraumtechnologien von Bedeutung sind. Dabei wird auf die Konzepte *Space Security* und *Space Situational Awareness* (im Folgenden mit SSA abgekürzt) eingegangen und beispielhaft vertrauensbildende Maßnahmen gezeigt. Kapitel 3 diskutiert Vertragsentwürfe für ein Verbot von Weltraumwaffen und analysiert diese hinsichtlich der Vorschläge für Verifikationsmechanismen und Verbotstatbestände.

Die Kapitel 4 und 5 widmen sich den technischen Details der Waffensysteme einerseits und ihrer Verifikation andererseits. Dabei werden die einzelnen Systeme klassifiziert und es wird auf die inhärente ASAT-Problematik von Raketenabwehrsystemen eingegangen.

Technische Einschätzung der Verifikationsmethoden und politische Abwägungen treffen sich in Abschnitt 5.4 ab Seite 61, wo eine Matrix mit Komponenten für ein Verifikationsregime mit Risikoabschätzung grob skizziert und ein Punktesystem zur Bewertung der Vertragserfüllung vorgeschlagen wird.

Mit einer Zusammenfassung im letzten Kapitel (6) endet diese Arbeit.

## 1.5. Methodik der Arbeit

Im Bereich der Nuklear- und Weltraumtechnologie ist die Verifikation maßgeblich durch den Dual-Use-Charakter der Systeme und Komponenten bestimmt. Eine rein technisch-naturwissenschaftliche Bewertung von Fakten bzw. Erkenntnissen aus Deklaration und Inspektion versagt oft hinsichtlich der politischen Dimension. In dieser Arbeit werden technologische Aspekte von Waffensystem und Komponenten analysiert und mit technologischen Aspekten von Verifikationssystemen bzw. -methoden verglichen. Dabei kommen mathematisch-naturwissenschaftliche, also physikalische Abschätzungen von Effekten und Wirkungen zum Tragen. Über diesen physikalisch objektiven Teil hinaus werden aber auch politische Folgen der einzelnen Verifikationsmechanismen erwo-gen und in ein potentiell-es Gesamtregime eingebettet. Dabei wird ihre Wirkungsweise in Auszügen mit anderen Verifikationsregimen analytisch verglichen und so auf Wirksamkeit und politische Folgen geprüft. Im Hintergrund steht ein politologisches Konzept, dass sowohl die Einbindung der Staaten in

internationale Institutionen und Verträge zulässt (ja sogar wünscht) als auch die zunehmend multipolare Machtverteilung, zu mindestens in Bezug auf Welt-raumnutzung, berücksichtigt. Reine institutionalistische oder funktionale Konzepte treffen nicht vollständig zu, da sie den Resteinfluss der einzigen verbliebenen Supermacht USA nicht genügend berücksichtigen. Dieser manifestiert sich im mittelfristigen Scheitern von Abrüstung- und Begrenzungsbemühungen in den internationalen Organisationen seit dem Ende des Ost-West-Konflikts.

## 2. Auf dem Weg zu Regeln für Weltraumtechnologien

Gemeinsame Sicherheit verlangt die Ersetzung der Abschreckungsstrategie durch eine Abhaltungsstrategie unter Verzicht auf Maßnahmen der Präemption und der Vergeltung (insbesondere mit Massenvernichtungswaffen).

Dieter Lutz

Das Verbot von Entwicklung, Produktion, Stationierung und Einsatz von Weltraumwaffen, wie es in den in Kapitel 3 vorgestellten Vorschlägen thematisiert wird, berührt nur die militärische Seite eines erweiterten Sicherheitsbegriffs für Weltraumtechnologien. Ein kleiner Teil der Satelliten ist derzeit passiv militärisch und dient der Aufklärung, Überwachung und Kommunikation, die kommerzielle Nutzung überwiegt deutlich wie Abbildung 2.1 zeigt.<sup>1</sup>

Beiden Nutzungskonzepten ist zueigen, dass die Sicherheit der Objekte mehr als ein wirtschaftliches oder militärisches Interesse darstellt, ja die Souveränität eines Staates tangiert. Denn die modernen nationalen Wirtschaften sind im hohen Maße abhängig von den durch Weltraumtechnologie zur Verfügung gestellten Anwendungen. Beispielhaft ist hier die Satellitenkommunikation und -navigation genannt, die Vereinigten Staaten wären in-

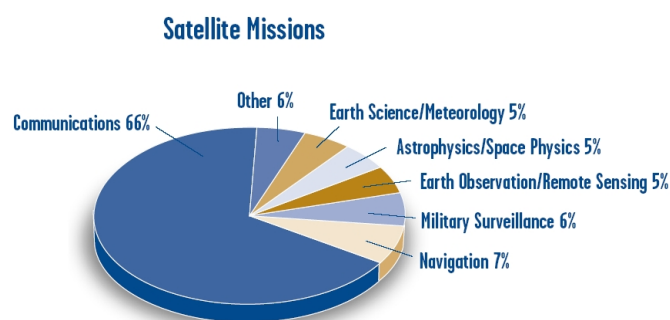


Abbildung 2.1.: Verteilung der Satellitenmissionen nach ihrem Charakter. Quelle: *Union of Concerned Scientist USA* (<http://www.ucsusa.org>)

<sup>1</sup>Aktuelle Informationen finden sich unter anderem in dem jährlich erscheinenden Space Security Index [CWCSE+04].

zwischen ohne Weltraumtechnologien nicht in der Lage, ihre C<sup>4</sup>ISR<sup>2</sup> (*Command, Computers, Control, Communications, Intelligence Processing, Surveillance, Reconnaissance*) Strategie umzusetzen und damit Kriege wie Afghanistan 2001 und Irak 2003 zu führen. Im alltäglichen Leben beruhen alle modernen Logistikunternehmen, der Schiffs- und Flugverkehr und die Rettungsdienste auf GPS-Satellitennavigation, die gesamte Telekommunikation (TV, Daten- und Sprachkommunikation, Notfalldienste etc.) ist ohne entsprechende Weltrauminfrastruktur nicht denkbar. Grund genug, die Sicherheit der orbitalen Objekte unabhängig vom militärischen Gefährdungspotential als Ziel internationaler Politik zu verorten und die hier erzielten Lösungen in ein späteres Verifikationsregime zu integrieren. Sie können also schon im Vorfeld der Vertrauensbildung dienen und eben so den Weg für einen politischen Prozess, der zur völkerrechtlichen Ächtung von Weltraumwaffen führen könnte.

### 2.1. Space Security

Unter dem Begriff der Weltraumsicherheit (*Space Security*) finden sich eine ganze Anzahl von Konzepten, die auf die Verbesserung der Sicherheit von im (erdnahen) Weltraum positionierten Objekten zielen. Neben Meteoriten, die z.B. durch den Vorbeiflug von Kometen in Erdnähe gebracht werden, bilden die menschlichen Interaktionen im All die Hauptgefahrenquelle. An erster Stelle ist hier der Weltraumschrott (*Space Debris*) zu nennen, auf seine möglichen Ursachen wird in Kapitel 2.1.1 eingegangen. Ein Teil eines zukünftigen Weltraum-Verkehrsmanagements, wie in Kapitel 2.1.3 umrissen, ist die Kontrolle aller Objekte, ihre Klassifizierung und Kartographierung. Im Militärjargon der USA wird dafür gerne der Begriff *Space Situational Awareness* benutzt, allerdings bezogen auf die Sicherheit der eigenen Satelliten und nicht in einem globalen Kontext. Dazu werden so genannte *Space Surveillance Systems* benutzt, die durch Datensammlung und -aufbereitung aktuelle Karten des Weltraums anfertigen können (siehe Abschnitt 2.1.2). Die Kenntnis, auf internationaler Ebene, aller Weltraumobjekte ist aber ein entscheidendes Werkzeug der Vertrauensbildung, wie in Kapitel 2.2 beschrieben und könnte eine Kernaufgabe einer zu schaffenden Internationalen Weltraum-Agentur (*International World Space Agency*, nachfolgend IWSA genannt) darstellen. Diese Idee wird im letzten Ab-

---

<sup>2</sup>vergl. hierzu Gary Chapman [Cha03]

schnitt (Kapitel 2.3) vertieft. Zunächst soll im Folgenden die Hauptursache für Gefährdung von Weltraumobjekten, Weltraumschrott, näher beleuchtet werden.

### 2.1.1. Space Debris - Weltraumschrott

Weltraumschrott (*Space Debris* oder *Orbital Debris*) ist die Hinterlassenschaft aus mehr als 45 Jahren Raumfahrt und entsteht durch menschliche Aktivitäten. Dazu zählt u.a. der Transport in die vorgesehenen Orbitale, zivile und militärische Experimente, das Fehlschlagen von Manövern und Raketenstarts, das Auftreffen von Partikeln auf andere Objekte im Orbit und einige andere spezielle Ursachen<sup>3</sup>.

Weltraumschrott wird nach Größe der Partikel in drei und nach Entstehungsursache in fünf Klassen eingeordnet (siehe auch Abb. 2.3 auf Seite 16). Weitere Details hierzu finden sich bei [BRA+97] und [RN04]. Wegen der relativ geringen Abweichungen von den Geschwindigkeitsvektoren stabiler Orbits verbleiben die Partikel über Jahre im Raum zwischen geostationärem Orbit (*Geostationary Earth Orbit*, nachfolgen mit GEO abgekürzt), der bei ca. 36.000 km Höhe liegt und der oberen Erdatmosphäre. Fragmente, die durch Explosionen freigesetzt wurden, breiten sich vom Entstehungsort radial aus, ihre Bahnen bedecken nach wenigen Jahren einen Großteil der Kugeloberfläche eines Höhen-Orbits, wie Abbildung 2.4 verdeutlicht. Die meisten Fragmente besitzen tangentielle Geschwindigkeitskomponenten, die nicht genau der stabilen Bahngeschwindigkeit der Entstehungshöhe (über der Erdoberfläche) entsprechen. Solange die



Abbildung 2.2.: Schematische Darstellung von Weltraumschrott in Erdorbitalen. Quelle: *Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme, Universität Braunschweig*

Partikel über Jahre im Raum zwischen geostationärem Orbit (*Geostationary Earth Orbit*, nachfolgen mit GEO abgekürzt), der bei ca. 36.000 km Höhe liegt und der oberen Erdatmosphäre. Fragmente, die durch Explosionen freigesetzt wurden, breiten sich vom Entstehungsort radial aus, ihre Bahnen bedecken nach wenigen Jahren einen Großteil der Kugeloberfläche eines Höhen-Orbits, wie Abbildung 2.4 verdeutlicht. Die meisten Fragmente besitzen tangentielle Geschwindigkeitskomponenten, die nicht genau der stabilen Bahngeschwindigkeit der Entstehungshöhe (über der Erdoberfläche) entsprechen. Solange die

<sup>3</sup>Hier sei an z.B. der berühmte RORSAT-Fall genannt, eine Reihe von russischen Radar-Ozeanüberwachungssatelliten der 1980er Jahre, bei dem (nach Außerbetriebnahme) durch Abstoßung des Reaktorkerns vom Behälter in das Weltall das Kühlmittel Natrium und Kalium (NaK) in Tropfenform ausgetreten und seitdem in Umlauf ist.

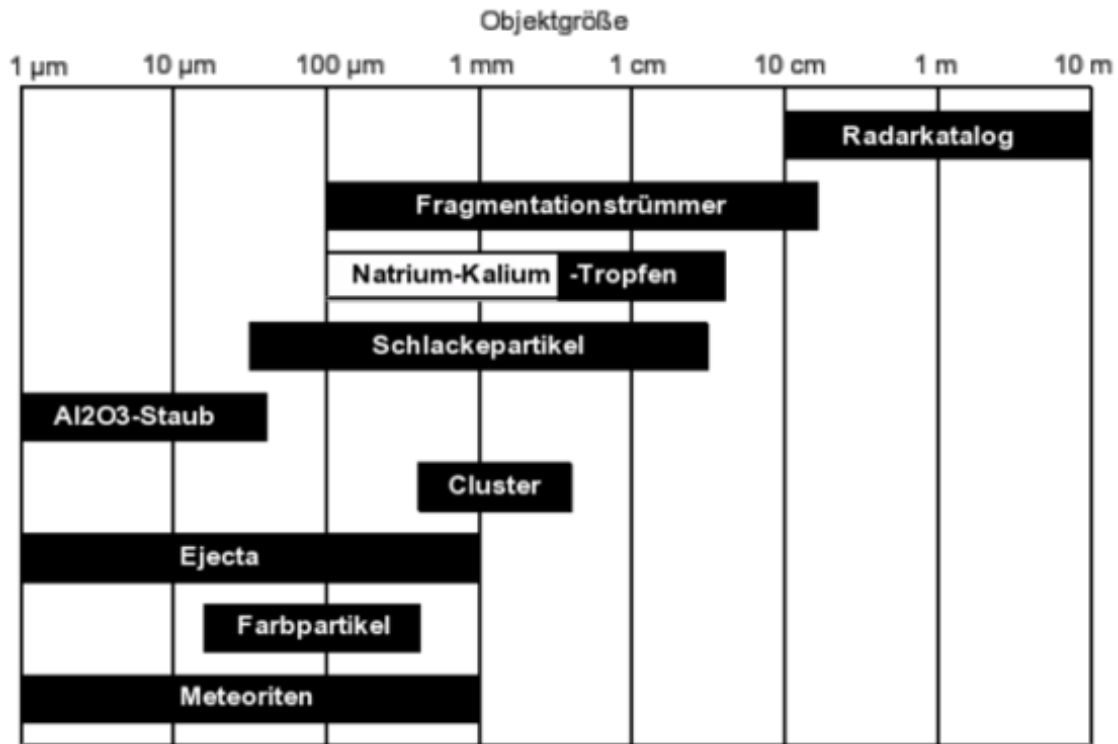


Abbildung 2.3.: Größenzusammensetzung von Weltraumschrott. Quelle: *Institut für Luft- und Raumfahrtsysteme, Universität Braunschweig* <http://www.ilr.ing.tu-bs.de/forschung/raumfahrt/spacedebris>

radiale Geschwindigkeitskomponente kleiner als die erste Fluchtgeschwindigkeit zum Verlassen der Erdanziehungskraft ist, verbleiben diese Teilchen bis zum Wiedereintritt in die Atmosphäre über Jahrzehnte oder Jahrhunderte in Erdnähe. Allerdings gibt es auch Einflüsse, die die Lebensdauer in diesem Bereich verkürzen, dazu zählt der atmosphärische Restdruck bis in größere Höhen, die Gravitation von Sonne und Mond und der solare Strahlungsdruck. Aktive Maßnahmen wie die Rückholung von Satelliten oder die Rückführung durch Bremsmanöver zum Wiedereintritt in die Erdatmosphäre sind aber nur bei größeren Objekten möglich.

Die fatale Wirkung der Weltraumschrottpartikel, selbst bei geringsten Abmessungen, kommt durch die hohe Relativgeschwindigkeit zum Target-Objekt zustande. Teilchen mit Abmessungen von wenigen Zentimetern haben bei Relativgeschwindigkeiten im Bereich von km/s die Fähigkeit, selbst harte Materialien wie Stahl mit Stärken von bis zu einigen Zentimeter zu durchschlagen. Seit längerem gibt es wissenschaftliche Untersuchungen mit Weltraum- und Boden-

Experimenten und Simulationen, die das Gefährdungspotential bei Satelliten abschätzen sollen<sup>4</sup>.

Darüber hinaus existieren Modelle zur Berechnung von Verteilung, Ausbreitung und Lebensdauer von Schrottpartikeln wie MASTER (*Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference*, ESA) oder ORDEM2000 (*Orbital Debris Engineering Model*, NASA) und ständig aktualisierte Kataloge über alle Schrottteile mit Abmessungen größer als 10 cm. Letztere werden mit Hilfe von Radar-Scanning und -Tracking sowie optischen Beobachtungen erstellt. Diese Verfahren bilden das Kernstück eines Weltraum-Überwachungssystems (*Space Surveillance Systems*, im Folgenden mit SSS abgekürzt), das im nächsten Abschnitt besprochen wird.

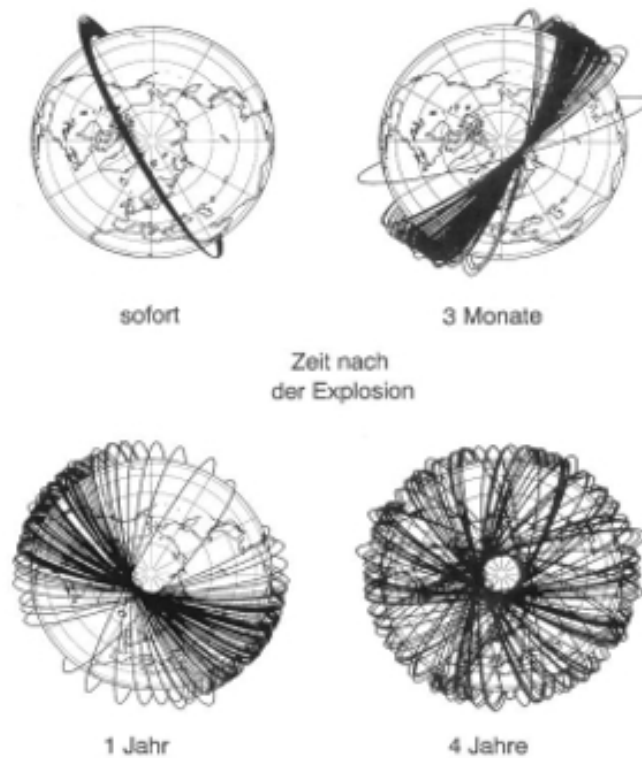


Abbildung 2.4.: Zeitliche Entwicklung der Ausbreitung von Explosionsteilen. Quelle: *Institut für Luft- und Raumfahrtsysteme, Universität Braunschweig* <http://www.ilr.ing.tu-bs.de/forschung/raumfahrt/spacedebris>

### 2.1.2. Space Surveillance Systems (SSS)

*Space Surveillance Systems* erfassen, kategorisieren und klassifizieren systematisch alle Objekte im (erdnahen) Weltraum bis zum GEO und zum Teil darüber hinaus. Sie können aus einem Netzwerk heterogener Komponenten bestehen, u.a. Radar- und optische Teleskope sowie Weltraum-gestützte Infrastruktur. Während optische Beobachtungsmethoden Wetter- und Sonnenlicht-abhängig

<sup>4</sup>Hier sei beispielhaft das LDEF-Programm (*Long Duration Exposure Facility*) der NASA genannt, bei dem ein zylindrischer Satellit 6 Jahre in Orbits zwischen 480 und 331 km Höhe Partikeleinschlägen ausgesetzt war (siehe z.B. [RN04] S. 65).

sind, dafür aber insbesondere in den Orbits jenseits des LEO (*Low Earth Orbit*) bessere Auflösungen bieten und große Gebiete erfassen können, sind die erdgestützten Radar-Techniken zu jeder Tages- und Nachtzeit einsetzbar, dafür aber nur mit geringerer Auflösung in Erdferne und nicht geeignet für Übersicht-Scans. Allerdings bietet die Laufzeitinformation des Radar-Trackings den direkten Zugriff auf die Objektentfernung, die bei optischer Beobachtung erst aus den Bahndaten berechnet werden muss. *Space Based Surveillance Systems* (SBSS) bieten im optischen Bereich Vorteile, da der störende Einfluss der Atmosphäre entfällt. Zugleich können sie bei geeigneten Orbits in kürzerer Zeit größere Räume überwachen und bieten eine detailliertere Überwachung der erdfernen Orbitale, insbesondere des GEO. Die Stromversorgung für die leistungsstarken Radar-Sensoren stellt allerdings diese Technik vor kostenintensive Herausforderungen, zusätzlich zu den ohnehin immensen Entwicklungs- und Startkosten.

*Space Surveillance Systems* sind ein unverzichtbarer Bestandteil um *Space Situational Awareness* (SSA) für zivile und militärische Weltraumobjekte zu gewährleisten. Damit bekommen SSS sowohl militärische als auch rüstungskontrollpolitische Bedeutung. Sie sind im doppelten Sinn eine Dual-Use-Technologie, insbesondere wenn sie unilateral vorangetrieben werden. Das einzige derzeit kontinuierlich und systematisch arbeitende SSS ist das *Space Surveillance Network* (SSN) der Vereinigten Staaten (früher US-SPACECOM jetzt USSTRATCOM - <http://www.stratcom.mil>).

Es beruht auf 17 Radaranlagen und 8 Teleskopen, sowie einem Weltraumgestützten optischen Teleskop (*Space Based Visible Telescope*). Derzeit werden ca. 80.000 Kontakte täglich erfasst, allerdings ist die Auflösung auf 5 bis 50 cm Objekt-Durchmesser, je nach Orbithöhe, beschränkt. Die USA arbeiten an einigen technischen Upgrades und Neu-Investitionen, um die Leistungsfähigkeit



Abbildung 2.5.: Das 100-meter Radio-Teleskop bei Effelsberg, Deutschland. Quelle: [Kli]

des Systems auszubauen<sup>5</sup>. Daneben besitzen auch Russland, China, die EU (siehe Abbildung 2.5) und neuerdings Japan entsprechende wenn auch weniger mächtige Systeme. In der EU sind Pläne für ein *European Space Surveillance Network* (ESSN) im Gespräch<sup>6</sup>. Bisher greifen die EU und ESA im Wesentlichen auf Daten des SSN zurück<sup>7</sup> um für ihre Satelliten ein Verkehrsmanagement (*Space Traffic Management*) zu realisieren. Das dies bezüglich Weltraumschrott nötig ist, dokumentiert Detlef Alwes vom DLR, dem Deutschen Luft und Raumfahrtzentrum:

[...] Beispiele sind die französischen SPOT-Satelliten und der europäische Erderkundungssatellit ERS1, mit denen [...] Ausweichmanöver geflogen wurden. Solche Ausweichmanöver sind allerdings nur gegenüber Objekten möglich, die wie oben beschrieben in ihrer Bahn verfolgt werden können. [Alw06]

Nicht nur wegen der vereinheitlichten Umsetzung von rechtlichen Bestimmungen wäre ein internationales *Space Traffic Management* sinnvoll. Es besitzt auch Potential für Vertrauensbildung und Rüstungskontrolle.

### 2.1.3. Space Traffic Management - Verkehrsmanagement im Weltraum

Wie im Seerecht sind auch in einem zukünftig erweiterten internationalen Weltraumrecht Richtlinien für einen kontrollierten Verkehr im All, mit Bahn-Datenaustausch und Kooperation sinnvoll. Das wird insbesondere bei Notfällen deutlich, bei denen nicht unbedingt Menschen in Gefahr sein müssen. Die Gefahr, die von unkontrollierten Objekten im Weltraum ausgeht und für einen anderen Teil der Infrastruktur besteht ist ausreichend (insbesondere, da für den Großteil der Satelliten kein Backup-System existiert).

Bei der Vergabe von Frequenzen ist die ITU (*International Telecommunication Union*) bereits wegweisend, die geregelte Vergabe von Slots (Startfenster), Orbits etc. wäre also nur folgerichtig. Die *International Academy of Astronautics* (IAA) hat dazu eine Studie erstellt, die drei Elemente eines *Space Traffic Management* auflistet [IAA]:

---

<sup>5</sup>Eine Übersicht bietet [CWCSE+04]

<sup>6</sup>H. Klinkrath von der ESA (ESOC) hat dazu eine Übersicht über die europäischen Kapazitäten erstellt ([Kli]. Die *Interparliamentary European Security and Defence Assembly* (<http://www.assembly-weu.org/en/index.php>) hat im Mai 2006 Vorschläge für eine europäische Reaktion auf eine Bewaffnung des Weltraums herausgegeben, die ein Plädoyer für ein ESSN beinhalten [Int06].

<sup>7</sup>Siehe dazu [Alw06].

- The Launch Phase (Startphase)
- The In-Orbit Operation Phase (Operationsphase)
- The Re-Entry Phase (Wiedereintrittsphase)

Dabei geht es unter anderem um Kollisionswarnung und Vermeidung, Operationen am Ende der Betriebszeit, Festlegung von Orbits, Entfernung von Weltraumschrott, Informationsbedarf/Notifikation und Anpassung von nationalem und internationalem Recht. Hier ist bereits ein Model vorgezeichnet, das einer Kontroll- und Regelungsinstitution bedarf und damit ein (mächtiges) internationales Instrument im Sinne der Rüstungskontrolle im Weltraum, mindestens aber der Vertrauensbildung darstellt.

### 2.2. Confidence and Security Building Measures

Viele von den in diesem Kapitel vorgeschlagenen Technologien und Konzepten haben einen inhärenten vertrauensbildenden Charakter, wenn gleich sie schon durch eine rein technische Argumentation sinnvoll erscheinen. Ihnen ist deswegen immer ein gewisser Investitionsaufwand zu eigen, dem man wegen ihres Dual-Use-Charakters nicht immer ein eindeutig (rüstungskontroll-)politisches Signal beimessen kann. Vertrauens- und sicherheitsbildende Maßnahmen, VSBM (engl. *Confidence and Security Building Measures*, CSBM) können aber schon mit geringem oder gar keinem technischen Aufwand politische Wirkung zeigen. An erster Stelle ist hier ein verbesserter Informationsaustausch vor dem Start (*Pre-Launch Notification*) auf bi- oder multilateraler Ebene zu nennen. Das bestehende UN-Register-System ist zu einem *Post-Launch-Register* mutiert, falls überhaupt eine Notifikation erfolgt. Theresa Hitchens, Vize-Präsidentin des *Center of Defense Information*, schreibt:

*One key approach to transparency might be the establishment of a pre-launch notification regime [...]. This is not as radical a concept as it may seem; indeed, it was the basis of the June 2000 U.S.-Russian Joint Data Exchange Center (JDEC) concept and subsequent U.S.-Russian Pre- and Post-Launch Notification agreement in August 2000 for sharing early warning data on missile and space launches. These two agreements were quite far-reaching in the kinds of data to be exchanged. [Hit03]*

Darüber hinaus kann der Austausch von Informationen über Satellitenbahnen, Bahnen von Weltraumschrott, geplanten Manövern und Notfällen zu einer gesteigerten Wahrnehmung von Sicherheit und Vertrauen auch auf Seiten der

hoch technologisierten Staaten führen. Für einige Politiker und Wissenschaftler sind solche „*rules of the road*“ ein Einstieg in einen gewollten politischen Prozess zu einem *Space Weapons Ban Treaty* und gerade deshalb für andere wiederum nicht diskutabel. Fest steht, dass sie ein wirksames Instrument auf subvertraglicher Ebene sind, die, beginnend mit bilateralen Verhandlungen als ein Kristallisationskeim für ein neues Regime, zu mehr Weltraumsicherheit führen können.

Als erfolgreiches Instrument haben sich auch einseitige, konditionale oder induzierte Moratorien erwiesen. Hier sei an das ASAT-Teststopp-Moratorium der UdSSR von 1983 erinnert, das der US-Kongress mit einem abhängigen Test-Stop ab 1985 und ausgeweitet 1987 beantwortete [Gre03a].

### 2.3. Die Internationale Weltraum-Agentur

Mit den Verbotsverträgen zu den drei nicht-konventionellen Typen von Massenvernichtungswaffen (NPT, BWÜ und CWÜ) hat sich einstweilen die Idee von vertragsspezifischen Überprüfungsorganisationen (IAEA und CTBTO, OPCW) gegen die Idee einer umfassenden Abrüstungsorganisation mit globalen Verifikationsaufgaben, wie sie erstmals in den früher 1960er Jahren in der US-sowjetischen McCloy-Zorin-Erklärung vorgeschlagen wurden, durchgesetzt. Die Ideen für den Aufgabenumfang einer Internationalen Weltraum Agentur (*International World Space Agency, IWSA*) variieren über ein breites Spektrum. Detlev Wolter schlägt in [Wol05] einen umfassenden Ansatz vor, der ausgehend vom *Common Heritage of Mankind*-Prinzip, eine *Organisation for Common Security in Outer Space* (OCSO) mit vier Aufgabenschwerpunkten ins Leben ruft [Wol05]:

- Kooperative Sicherheit und Vertrauensbildung
- Überwachung und Verifikation
- Frühwarnung und Schutz gegen unautorisierte und unbeabsichtigte Raketenangriffe
- Zusätzliche Aufgaben im Bereich der militärischen und zivilen Weltraumsicherheit

Darüber hinaus schlägt Wolter auch mögliche Langzeit-Aufgaben und eine institutionelle Struktur der OCSO vor, die an die der IAEA oder CTBTO ange-

lehnt sein soll. Mit der Organisation INTELSAT, die die zivile (Satelliten-)Nutzung des Weltraums regelt, gibt es bereits erfolgreiche Ansätze für internationale institutionalisierte Kooperationen auf diesem Gebiet.

### 3. Mögliche Vertragsentwürfe für ein Begrenzungsabkommen

Das Neuartige dieser Situation liegt darin, dass ihr durch nationale Bewaffnung nicht mehr erfolgreich Rechnung getragen werden kann. Man kann durch Bewaffnung wohl andere bedrohen, sich selber aber nicht wirksam schützen. Wirksamer Schutz kann nur dadurch erreicht werden, dass die bisherige Anarchie auf dem internationalen Gebiet aufgehoben und durch verlässliche übernationale Sicherung gegen militärische Angriffe ersetzt wird.

---

*Albert Einstein, 17. November 1946*

Seit Rüstungskontrollvereinbarungen im Zeitalter des Ost-West-Konflikts zu einem entscheidenden politischen Instrument der Deeskalation, Entspannung und Vertrauensbildung geworden sind, existieren auch Vorschläge für eine Begrenzung der militärischen Aktivitäten im Weltraum. Wegen der großen Entfernung der beiden Hauptkontrahenten, UdSSR und USA, beinhaltete ein Teil des strategischen (nuklearen) Rüstungswettlaufs ab den 1950er Jahren Weltraumtechnologien, insbesondere die Entwicklung von ballistischen Interkontinentalraketen (ICBM), später dann die seegestützte (U-Boot-) Variante (SLBM)<sup>1</sup> und den gesamten Bereich der Satellitenaufklärung und Überwachung. Das Lager der Befürworter einer „Ver-regelung“ des Weltraums spaltete sich an der Frage, ob ein umfassender Verbotvertrag nötig ist. Hier sollen nur Vorschläge diskutiert werden, die diese Prämisse akzeptieren, weil nur für sie ein geschlossenes Verifikationsregime denkbar erscheint.

---

<sup>1</sup>So wurde u.a. auch die Entwicklung von Satellitennavigation getriggert, denn man benötigte für die Initialsteuerung der ballistischen Raketen die genaue Startposition.

### 3.1. Verbotstatbestände in unterschiedlichen Vertragsentwürfen

Von staatlicher Seite, wie von Seiten der NGOs hat es in den letzten 25 Jahren mehrfach Vorschläge für einen Verbotsvertrag für Weltraumwaffen gegeben. In der *Conference on Disarmament* der Vereinten Nationen haben sich immer wieder Länder wie die Volksrepublik China, Russland und Kanada mit Initiativen hervorgetan, während die Vereinigten Staaten keinen Bedarf für eine vertragliche Regelung sehen. Darüber hinaus haben die USA Verhandlungen über einen *Space Weapons Ban Treaty* vom Abschluss eines *Fissile Material Cut-Off Treaty* (FMCT), an dem sie wegen ihrer Non-Proliferationsstrategie interessiert sind<sup>2</sup>, abhängig gemacht. Das Thema PAROS (*Prevention of an Arms Race in Outer Space*)<sup>3</sup> liegt seitdem in der UN-CD auf Eis, wiederholte Versuche, die Blockadepolitik der USA zu durchbrechen, misslingen.

Einen Überblick über einige der Vertragsentwürfe findet man u.a. in [RN04], [Wo105], [CNS05] und [ICI06] sowie [PCG03]. Die Vorschläge unterscheiden sich nicht nur in der Definition einer Weltraumwaffe, sondern auch im Wirkungsbereich und den Verbotstatbeständen. Die Frage der Verifikation wird nicht in allen behandelt (vergl. Kapitel 1.2, Seite 8), offen bleibt zudem, wie, durch wen und mit welchen technischen Mitteln, aber auch mit welcher Eindringtiefe sie durchgeführt werden soll. Die Göttinger Erklärung von 1984<sup>4</sup> und der Vorschlag der Chinesischen UN-CD-Delegation [Amb01] von 2001 erwähnen eine Verifikation mit *National Technical Means* (NTM) und eine *Non-Interference-Klausel*<sup>5</sup>, der Chinesisch-Russische-Vertragsentwurf [The02] (ebenfalls aus der UN-CD) von 2002, der auf politische Durchsetzbarkeit optimiert sein soll, sowie der *Space Preservation Treaty*<sup>6</sup> [ICI02] machen hierzu keine Aus-

---

<sup>2</sup>Im Bereich der nuklearen Massenvernichtungswaffen verweigern sowohl die USA wie auch Frankreich Verhandlungen über das Thema Abrüstung. Damit verstoßen sie gegen ihre im Nichtweiterverbreitungsvertrag (NPT) festgeschriebene Pflicht (Artikel VI), was ihnen insbesondere von den NAM-Staaten wiederholt vorgeworfen wird und u.a. zum Scheitern der NPT-Review-Konferenz 2005 geführt hat.

<sup>3</sup>Die CD hatte von 1985 bis 1994 ein gleichnamiges Komitee, für dessen Wiedereinrichtung sich bis dato keine Mehrheit in der CD findet.

<sup>4</sup>*Treaty on the Limitation of the Military Use of Outer Space*, vorgeschlagen von H. Fischer, R. Labusch, E. Maus und J. Scheffran auf der *Conference of scientists against the militarization of space*, im Juli 1984 in Göttingen. Siehe dazu [FLMS02].

<sup>5</sup>Nicht-Beeinflussung der NTM einer anderen Vertragspartei.

<sup>6</sup>Ein Gesetzesentwurf (H.R.2977) im US-Kongress, vorgelegt von Dennis Kucinich am 2. Oktober 2001, überarbeitet vom ICIS (*Institute for Cooperation in Space*,

sagen und möchten die diesbezüglichen Verhandlungen nachgelagert führen. Ob mit oder ohne im Vertragstext integrierte Verifikation, ein Überprüfungsregime muss sich auf die explizit benannten Verbotstatbestände beziehen und angemessene Maßnahmen vorsehen, um ihre Einhaltung zu kontrollieren und zu gewährleisten<sup>7</sup>. Exemplarisch für die Vielzahl von Vorschlägen sind in Tabelle 3.1 die Verbotstatbestände für drei Vertragstexte aufgeführt, um die Summe möglicher Verifikationsinhalte abzuschätzen. Sie hängen explizit von der Kategorisierung der einzelnen Weltraumwaffen und der Definition der Begriffe Weltraum, Weltraumwaffe, Weltraumwaffensystem bzw. Komponente ab. Im Vorschlag der Chinesischen UN-CD-Delegation [Amb01] ist in Artikel IV eine Liste von Definitionen der Begriffe

**Outer Space** is the space above the earth's atmosphere, i.e. space 100 km above the sea level,

**Weapons** are devices or facilities that strike, destroy or disrupt directly the normal functions of a target by various destructive ways,

**Weapon Systems** are the collective of weapons and their indispensable linked parts that jointly accomplish battle mission,

**Components of Weapon Systems** are subsystems that directly and indispensably involved in accomplishing battle missions,

integriert. Ein einfaches Beispiel zeigt, wie schwierig es bereits auf der technischen Ebene ist, eindeutige und umfassende Definitionen zu finden:

Das Stören (*Jamming*) von Satelliten-Navigationssignalen beeinträchtigt oder verhindert nicht das Funktionieren des oder der entsprechenden Satelliten, fällt also nicht unter die oben genannte Definition. Dennoch bedeutet es unzweifelhaft einen Angriff auf die Navigationsinfrastruktur mit dem Ziel, die Fähigkeiten der betroffenen Partei zu beeinträchtigen. Fallen also Geräte zur Störung von elektromagnetischen Satellitensignalen unter die Kategorie Weltraumwaffe?

---

<http://www.peaceinspace.com>). Hinsichtlich der formalen Sprache wurde der Entwurf von Ian Kenyon kritisiert und mit Änderungen versehen [Ken02].

<sup>7</sup>Dazu zählen auch mögliche Anreize und Sanktionen im Falle der Nichteinhaltung, die aber hier nicht thematisiert werden sollen.

Bhupendra Jasani hatte bereits 1991 eine detailliertere Definition von Weltraumwaffen vorgestellt, die eine Antwort ermöglicht:

*A space weapon is a device stationed in outer space (including the moon and other celestial bodies) or in the earth environment designed to destroy, damage, or otherwise interfere with the normal functioning of an object or being in outer space, or a device stationed in outer space designed to destroy, damage, or otherwise interfere with the normal functioning of an object or being in the earth environment. Any other device with the inherent capability to be used as defined above will be considered as a space weapon. [Jas91]*

Ob diese sehr umfassende Definition die nötige politische Durchsetzungskraft entfalten kann ist im Moment jedoch fraglich. Zu viele widerstrebende Interessen in der UN-CD und auf anderen diplomatischen Bühnen verhindern schon eine thematische Diskussion und eine Wiedereinsetzung des PAROS<sup>8</sup>-Komitees. Fragen, die sich aus der Definition des Begriffs „Weltraumwaffe“ ergeben, sollen im folgenden Kapitel durch eine eher technisch-physikalische Betrachtung von möglichen und existierenden Weltraumwaffen geschärft und gegebenenfalls geklärt werden. Ihre politische Bedeutung bekommen sie im Kapitel 5 beimessen, in dem eine mögliche Verifikation beschrieben und eine Risikoabschätzung durchgeführt wird.

---

<sup>8</sup>Prevention of an Arms Race in Outer Space

<b>Verbotstatbestand</b>	<b>Vorschlag der Chinesischen UN-CD-Delegation (2001)</b>	<b>Vorschlag der Chinesisch-Russischen UN-CD-Delegation (2002)</b>	<b>Space Preservation Treaty</b>
<b>Dauerhaftes Verbot von Weltraum-basierten Waffen(systemen): G2S, S2S, S2G, G2G</b>	Ja (Artikel III)	Ja (Artikel III)	Ja (Artikel I, Abs. 1)
<b>Dauerhaftes Verbot einer irgend gearteten Beeinflussung, Beeinträchtigung oder Zerstörung von Weltraumobjekten (ASAT-Verbot): G2S, S2S</b>	Ja (Artikel III)	Nein (Artikel III)	Ja (Artikel I, Abs. 1)
<b>Dauerhaftes Verbot einer irgend gearteten Beeinflussung, Beeinträchtigung oder Zerstörung von erdgebundener Infrastruktur für Weltraumobjekte (Bodenstationen, Startbasen)</b>	Nein	Nein	Nein
<b>Dauerhaftes Verbot von Forschung, Entwicklung, Test, Herstellung und Stationierung aller Weltraum-gestützten Waffen: G2S, S2S, S2G, G2G</b>	Nein (Artikel III)	Nein (Artikel III)	Ja (Artikel I, Abs. 1(3))
<b>Verbot von passiv-militärischen Objekten zur Aufklärung, Überwachung, Kommunikation und Frühwarnung, die nicht Teil eines Waffensystems sind</b>	Nein	Nein (Artikel V)	Nein (Artikel I, Abs. 4(4))
<b>Verbot von Massenvernichtungswaffen (WMD) im Weltraum und allen Himmelskörpern: G2S, S2S, S2G</b>	Ja (Artikel III)	Ja (Artikel III)	Ja (Artikel II, Abs. 1)
<b>Verbot von Waffen-bezogenen Basen und Tests auf Himmelskörpern</b>	Nein (Artikel III)	Nein (Artikel III)	Ja (Artikel II, Abs. 1)
<b>Verbot von militärischem Personal für Nicht-Waffen-Zwecke</b>	Nein	Nein (Artikel V)	Nein (Artikel II, Abs. 2)
<b>Verbot von Weltraum-basierten Waffenleitsystemen (PGM m. GPS, C<sup>4</sup>I etc.)</b>	Nein	Nein	Nein
<b>Einrichtung einer Vertragsorganisation</b>	Ja (Artikel X)	Ja (Artikel VIII)	Ja (Artikel IV)
<b>Verifikationsmaßnahmen im Vertrag implementiert</b>	Ja (nicht spezifiziert)	Nein	Nein
<b>Sanktionen im Fall der Nicht-Einhaltung</b>	Nein	Nein (Artikel VIII)	Ja (Artikel IV)

Tabelle 3.1.: Übersicht über die Verbotstatbestände, Einrichtung einer Vertragsorganisation, Verifikation und Sanktionsmaßnahmen einzelner Vorschläge für einen Begrenzungsvertrag für Weltraumwaffen. **G2S**: Ground to Space, **S2S**: Space to Space, **S2G**: Space to Ground, **G2G**: Ground to Ground (möglicherweise exklusive ballistische Interkontinentalraketen (ICBM, SLBM)). Vergl. Abb. 4.1

## 4. Weltraumwaffen

Recognizing the common interest of all mankind in the progress of the exploration and use of outer space for peaceful purposes [...]

---

*Präambel des OST, Absatz 2*

Im letzten Abschnitt (Kapitel 3.1) wurden mögliche Definitionen für den Begriff Weltraumwaffe nach Jasani [Jas91] und anhand des Vertragsentwurfs der Chinesische UN-CD-Delegation [Amb01] gezeigt. Letztere wurde am 26. August 2004 von Botschafter Leonid A. Skotnikov<sup>1</sup> in einer Rede vor dem Plenum der UN-CD konkretisiert:

*In general, the term „space weapons“ means systems or devices, based on any physical principle, launched into the orbit around the Earth or placed in the outer space by any other way, which are produced or converted to destroy, damage or disrupt normal functioning of objects in outer space, as well as targets on the surface of the Earth or in the air. Space weapons are conceived to impact directly adversary’s assets, and by its nature can be both weapons of mass destruction or conventional ones, including those based on new physical principles. [Sko04]*

Eine weitere Definition ist [RN04] entnommen:

*WRW [Weltraumwaffen] sind Objekte, die sich im Weltraum befinden oder aus dem Weltraum wirken und u.a. Satelliten funktionsunfähig machen oder zerstören. Eine „operative WRW“ ist ein Verbund von Startanlage, Satellit und Bodenstationen.*

Tatsächlich existieren viele weitere solcher verbalen Bestimmungen, die versuchen das Konzept zu erfassen. Dabei kann zwischen räumlichen, zweckgebundenen, technischen oder politischen Herangehensweisen unterschieden werden. Nicht immer ist es das Ziel, eine möglichst umfassende Definition zu finden, politische Absichten und mögliche Durchsetzbarkeit haben bisweilen zu einer eher engen Bestimmung geführt. Man unterscheidet zudem zwischen eher zweckgebundenen (*purpose orientated*) Definitionen und solchen, die mit einer technischen Liste, z.B. mit Nennung von Waffentypen arbeiten.

---

<sup>1</sup>Permanent Representant of the Russian Federation to the UN Conference on Disarmament

Darüber hinaus lassen sich auch verschiedenen Kategorien von Weltraumwaffen aufstellen. Abbildung 4.1 zeigt eine Einordnung nach Start- und Wirkungsort, die sich im Wesentlichen auf Auseinandersetzungen im Umfeld des Planeten Erde bezieht, allerdings auch reine Weltraum-Weltraum-Waffenwirkung (*Space*

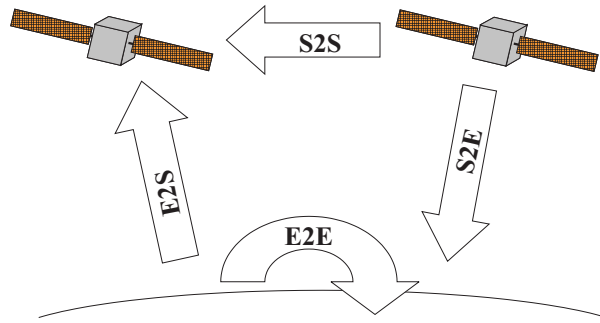


Abbildung 4.1.: Illustration zur Kategorisierung von Weltraumwaffen. Quelle: Andre Rothkirch

*to Space*, nachfolgend abgekürzt mit S2S) beinhaltet. Zusätzlich zu der oben genannten Definition nach [RN04] werden hier auch Waffensysteme erfasst, die von der Erde Ziele auf der Erde (*Ground to Ground*, nachfolgend abgekürzt mit G2G) bekämpfen sollen. Beispiele für diese und die verbleibenden Kategorien *Space to Ground* (S2G) sowie *Ground to Space* (G2S) werden in den folgenden Abschnitten (4.2), die diese Einordnung weiterverfolgen, aufgeführt. Weiterführende Informationen zu Waffen-relevanten Technologien im Weltraumsegment finden sich z.B. bei [PCG03]. Es kann zusätzlich auch nach der physikalischen Wirkungsweise der Waffe kategorisiert werden, wie jetzt beschrieben werden soll.

### 4.1. Klassifizierung von Weltraumwaffen nach ihrer Wirkungsweise

Weltraumwaffen können trotz Fehlens eines Mediums im All grundsätzlich mit ähnlichen physikalischen Effekten wirken wie konventionelle oder andere Waffen auf der Erde oder in der Atmosphäre. Man unterscheidet vier Typen:

**KEW** *Kinetic Energy Weapons*: Waffen, die durch die kinetische Energie eines oder mehrerer Teile auf das Ziel wirken,

**DEW** *Direct Energy Weapons*: Waffen, die aufgrund direkter Energieübertragung auf das Ziel wirken, z.B. Laser, Maser (Mikrowellen-Laser) oder Partikelstrahlen,

**NW** *Nuclear Weapons*: Nuklearwaffen, die auf verschiedene Art zerstörend wirken und

**Sonstige** sonstige und bisher unbekannte Waffenprinzipien.

Tabelle 4.1 auf Seite 32 bietet einen Vergleich über Wirkungsweise, Vor- und Nachteile der einzelnen Waffentypen.

### 4.1.1. Kinetic Energy Weapons - KEW

KEW machen sich die Tatsache zu Nutze, dass sich Satelliten auf vorhersagbaren Bahnen bewegen, empfindliche Teile wie Solarpanels besitzen und gegen Partikel mit hohen Relativgeschwindigkeiten (im Vergleich zum Satellit) nur schwer oder gar nicht zu schützen sind. Man spricht im Zuge des von der Bush-Administration geplanten Raketenabwehrprogramms vom *hit-and-kill*-Prinzip, das vor allem gegen, für den Wiedereintritt gehärtete, Sprengköpfe von ballistischen Interkontinentalraketen (ICBM) gerichtet ist, aber auch ein enormes ASAT (*Anti-Satellite*) Potential aufweist. Eine weitere Möglichkeit einer KEW ist die Freisetzung einer Partikelwolke (Schrottwolken-Szenario), die eine ungeheure allerdings zeitlich begrenzte Streuwirkung besitzt, aber ebenso wie ein *Kill Vehicle* in Raum und Zeit genau platziert werden muss. Modellrechnungen zu diesem Szenario wurden in [RN04] durchgeführt. Ausführlichere Beschreibungen zu diesem Waffentypen und den US-amerikanischen Plänen finden sich u.a. in [Spa03].

### 4.1.2. Direct Energy Weapons - DEW

DEW sind Waffen, die durch elektromagnetische Strahlung (Laser, Maser, elektromagnetische Pulse hoher Intensität) blenden, beeinträchtigen oder zerstören, oder durch Partikelströme (Protonen, Elektronen, Neutronen etc.) direkte Zerstörung oder Schaden durch atomistische Sekundäreffekte<sup>2</sup> hervorrufen. DEW (nicht Teilchenwaffen) wirken wegen der Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit instantan und können auch auf der Erde stationiert sein um gegen Ziele im Weltraum (G2S) zu wirken.

---

<sup>2</sup>Elektrische Aufladung des Ziels, Ionisierung von Oberflächen, Erzeugung von Brems- und Sekundärstrahlung (meist im Röntgen-Bereich).

#### 4.1.3. Nuclear Weapons - NW

Nuklearwaffen wirken im Weltraum durch die von der Kernexplosion (Spaltung und/oder Fusion) ausgehenden Strahlung (Gamma- oder Röntgenstrahlung), sowie durch die Entstehung von Ionen (Protonen und vor allem Elektronen), die sich im Van-Allen-Gürtel des Erdmagnetfeldes ansammeln und eine hohe örtliche Lebensdauer (von einigen Monaten) besitzen, sowie durch Neutronen (insbesondere bei Nuklearwaffen der dritten Generation), die ein großes Eindringvermögen in Materie aufweisen, da sie wegen ihrer elektrischen Neutralität nicht durch die Coulomb-Abstoßung der Elektronenhülle bzw. der Kerne aufgehalten werden. Neutronen sind Auslöser von sekundären Kernreaktionen, induzierter Spaltung oder Kernanregung, die weitere radioaktive Strahlung ( $\alpha$ ,  $\beta$  oder  $\gamma$ -Strahlung) freisetzt. In direkter Sichtlinie wirkt der von einer Kernexplosion ausgehende besonders starke elektromagnetische Impuls (EMP) polarisierend auf alle nicht entsprechend gehärteten elektronischen Bauteile. Durch die auftretende enorme örtliche Potentialdifferenz (Spannung) in Folge der elektrischen Polarisierung werden Halbleiter durch Zerstörung der Grenzschichten (p-n-Übergänge) funktionsunfähig gemacht. Die Detonation einer Nuklearwaffe in großen Höhen (50-300 km) wirkt direkt und indirekt auf Weltrauminfrastruktur und hat vermutlich wegen der Verstärkung des inneren Van-Allen-Strahlungsgürtels (150-1500 km Höhe) Langzeitwirkung auf Datenkommunikation mit Satelliten (vergl. [NR03]).

#### 4.1.4. Sonstige Waffen

Alle weiteren Waffentypen, z.B. manövrierfähige Kleinsatelliten oder Geräte zum Stören (*Jamming*) oder Verfälschen (*Spoofing*) von Satellitenkommunikation werden unter der Rubrik Sonstiges eingeordnet. Dazu werden auch solche Waffen zählen, die auf bisher unbekanntem Effekten beruhen und erst noch entwickelt werden.

Typ	System	Wirkung	Vorteile	Nachteile
KEW	Raketen	(teilw.) Zerstörung - direkt ( <i>kill vehicle</i> ) - indirekt (Schrottwolke)	Hohe Annäherungsgeschwindigkeit	Beschleunigung der Projektilmasse, Zielannäherung, resultierender Weltraumschrott
	<i>Kill Vehicles</i>	(teilw.) Zerstörung	Hohe Annäherungsgeschwindigkeit	Beschleunigung der Projektilmasse, Zielannäherung, resultierender Weltraumschrott
	Elektromagn. Kanonen ( <i>EM Guns</i> )	(teilw.) Zerstörung	Hohe Annäherungsgeschwindigkeit	Energie, technische Probleme
	Kollisionskörper - Metalstäbe - manövrierbare Satelliten	(teilw.) Zerstörung	Schwer zu erkennen, kaum Gegenmaßnahmen möglich	Zielannäherung, resultierender Weltraumschrott
	<i>Reentry Vehicles</i>	(teilw.) Zerstörung des Luft- oder Bodenziels	Globale Überdeckung, Zeitvorteil gegenüber vergleichbaren Boden- und Luftschlägen, kein Konflikt mit Anrainerstaaten des Zielgebiets	keine instantane Wirkung, teilweise Zielführung nötig
DEW	Laser	(teilw.) Zerstörung: - Solarpanels - Satellit/Sensoren - Sensoren blenden	Direkte, instantane Wirkung	Energie, nur in Sichtlinie, Atmosphäre, Gegenmaßnahmen, resultierender Weltraumschrott
	<i>Particle Beams, X-Ray</i>	(teilw.) Zerstörung, Funktionsunterbrechung	Unsichtbar, instantane Wirkung	Ausbreitung, Reichweite, Divergenz, Energie
	Mikrowellen ( <i>Maser</i> )	(teilw.) Zerstörung, Funktionsunterbrechung	Unsichtbar, instantane Wirkung	Divergenz, Wellenlängenabstimmung, Gegenmaßnahmen
NW	Nuklearwaffen	(teilw.) Zerstörung	hohe Letalität, großer Zerstörungsradius	Verkürzte Lebensdauer oder Zerstörung eigener Satelliten
Sonst.	Manövrierbare Satelliten ( <i>Docking Satellites</i> )	(teilw.) Zerstörung, Funktionsunterbrechung	Schwer zu erkennen, kaum Gegenmaßnahmen möglich	Zielführung
	<i>Jamming, Spoofing</i>	Funktionsunterbrechung	Instantane Wirkung	räumlich begrenzte Wirkung, Gegenmaßnahmen

Tabelle 4.1.: Übersicht über die Einteilung von Weltraumwaffen nach ihrer physikalischen Wirkungsweise: KEW (*Kinetic Energy Weapon*), DEW (*Direct Energy Weapon*), NW (*Nuclear Weapon*) und sonstige Weltraumwaffen. Die Tabelle wurde mit Änderungen von [RN04] übernommen.

## 4.2. Klassifizierung von Weltraumwaffensystemen nach Einsatzgebiet

Wie schon zu Beginn des Kapitels 4 in Abbildung 4.1 beschrieben, können Weltraumwaffensysteme gut durch ihren räumlichen Einsatz mit Start- und Zielgebiet klassifiziert werden. Dies bietet sich insbesondere hinsichtlich einer Aufteilung in verschiedene Verifikationsklassen an, da zwar Stationierungsorte am Boden leicht, solche im Weltraum nur unter erheblichem technischen und finanziellen Aufwand inspiziert werden können (*On-Site-Inspection*).

Da im nächsten Kapitel (5) verstärkt auf die technischen Details der Weltraumwaffensysteme und einer möglichen Verifikation eingegangen wird, bleibt die folgende Klassifizierung schematisch.

### 4.2.1. Ground to Space (G2S) - Waffensysteme

*Ground to Space* - Waffensysteme (G2S-Systeme) sind auf der Erdoberfläche stationiert und entfalten ihre Wirkung im Weltraum. Mögliche Ziele sind Satelliten, Raumstationen und den Weltraum durchquerende Flugobjekte, z.B. ballistische Interkontinentalraketen. Es sind prinzipiell alle vier in Kapitel 4.1 beschriebenen physikalischen Wirkungsweisen möglich. Allerdings unterliegen DEW der Schwierigkeit, die Erdatmosphäre durchqueren zu müssen, für Partikelstrahlen nicht praktikabel, für Laser oder Maser wegen der Streuwirkung der Luftmoleküle problematisch. DEW benötigen zum Betrieb jedoch kurzzeitig große Mengen an Energie, so dass ihre Stationierung bislang an die Erdoberfläche bzw. an Großraumflugzeuge wie eine Boeing 747 (vergl. *Airborne Laser*, ABL) gebunden ist. Die Vereinigten Staaten verfolgten Ende den 1980er Jahren ein Programm mit dem Namen MIRACLE (*Mid-Infrared Advanced Chemical Laser*, ein chemischer MW-Laser in New Mexico), das eine Reaktion auf eine vermeintliches ASAT-Laser-System der UdSSR in Kasachstan darstellte. Das US-amerikanische Programm wurde 1990 gestoppt, als nach bilateralen wissenschaftlichen Konsultationen klar wurde, dass die sowjetische Entwicklung keine Gefährdung implizierte. Nach einem zwischenzeitlichen Teststopp wurde das System 1997 mit einem leistungsschwachen Zielbeleuchtungslaser an einem amerikanischen Satelliten in 420 km Höhe getestet.

Die UdSSR testete zwischen 1963 und 1982 ein koorbitales ASAT-System, das den Start eines Killersatelliten beinhaltet, der sich innerhalb von ein bis zwei

Erdumläufen dem Zielobjekt nähert und es durch Explosion zerstört. Das System ist bis heute operabel, wenn auch seit Jahrzehnten nicht mehr getestet [Gre03b].

Die USA verfolgten nach der berühmten Star-Wars-Rede des damaligen Präsidenten Ronald Reagan 1983 ein ALMV-ASAT-Programm (*Air Launched Miniature Vehicle*, nachfolgend mit ALMV abgekürzt). Es wurde am 13. Oktober 1985 zum bisher einzigen Mal<sup>3</sup> mit einem Weltraum basierten Ziel getestet bei dem es in 555 km Höhe einen ausgedienten *Solwind*-Satelliten zerstörte<sup>4</sup>. Darüber hinaus verfolgten die USA zu Beginn der 1990er Jahre auch ein KE-ASAT-Programm (*Kinetic Energy ASAT*), das aber nie getestet wurde. Neuere Entwicklungen deuten darauf hin, dass das Stören und Verfälschen von Satelliten-Up- und Downlink-Verbindungen ein Gefahrenpotential darstellen könnte.



Abbildung 4.2.: Start eines ALMV von einer US-amerikanischen F-15. Quelle: *Federation of American Scientists* (<http://www.fas.org>)

### 4.2.2. Space to Space (S2S) - Waffensysteme

*Space to Space* - Waffensysteme (S2S-System) sind nach derzeitigem Kenntnisstand bisher nur als ASAT-Systeme getestet worden aber nicht stationiert oder operabel also nur in einer Phase der Planung bzw. Entwicklung. Die Sowjetunion entwarf ein Jagdsatellitensystem (Istrebitelny Sputnik [IS], UdSSR), das vermutlich getestet aber nicht stationiert wurde. Darüberhinaus existieren in den USA Pläne für im Weltraum stationierte Laser- und Partikelwaffen (*Space Based*

---

<sup>3</sup>Das Weiße Haus, unter Führung der Demokraten, und der mehrheitlich republikanisch besetzte Senat beschlossen im Dezember 1985 im Finanzierungsplan einen Teststopp für Weltraum basierte Ziele des ALMV-Programms (Public Law: 101-510, 102-190, 102-484, 103-160 und 103-337).

<sup>4</sup>Mehr Informationen zum ALMV-Programm z.B. bei *Federation of American Scientists*: <http://www.fas.org/spp/military/program/asat/almv.htm> und [http://www.edwards.af.mil/moments/docs\\_tml/85-09-13.html](http://www.edwards.af.mil/moments/docs_tml/85-09-13.html)

Laser, SBL), Radar-Satelliten (*Space Based Surveillance System*, SBSS, siehe Kapitel 2.1.2 ab Seite 17), die Teil eines Waffensystems sein können, sowie Weltraumgestützte Abfangobjekte (*Space Based Interceptors*, SBI) wie das Programm *Brilliant Pebbles*, das Ende der 1990er Jahre in die landgestützten Programme NMD (*Nationale Missile Defence*) und THAAD (*Theater High-Altitude Area Defense*) integriert wurde. Die inhärente ASAT-Problematik dieser Programme rückt jedes Abwehrprojekt gegen Interkontinentalraketen in den Fokus einer Betrachtung als Weltraumwaffe, da grundsätzlich Satelliten und Raumstationen auf festen Orbits mit diesen Systemen vergleichsweise leicht bekämpft werden können. Eine gute Übersicht über die US-amerikanischen Programme bietet Abbildung 4.3 auf Seite 36, die von der *Federation of American Scientists* (FAS) veröffentlicht wurde.

### 4.2.3. Space to Ground (S2G) - Waffensysteme

*Space to Ground* - Waffensysteme (S2G-System) sind bisher nur als KEW oder als Wiedereintrittskörper angedacht. DEW können wegen der hohen Orbitalgeschwindigkeit die Ziele nicht länger und gleichmäßig von einer Seite beleuchten, zudem sind sie im sichtbaren Spektralbereich stark wetterabhängig und verlieren einen Teil der Ausgangsleistung durch den Einfluss der Erdatmosphäre. Wiedereintrittsfahrzeuge (*Reentry Vehicles*) haben den Vorteil einer globalen Abdeckung mit kurzen Reaktionszeiten, sind aber wegen der nötigen Navigation technisch aufwendig, kostspielig und nur einmal zu verwenden.

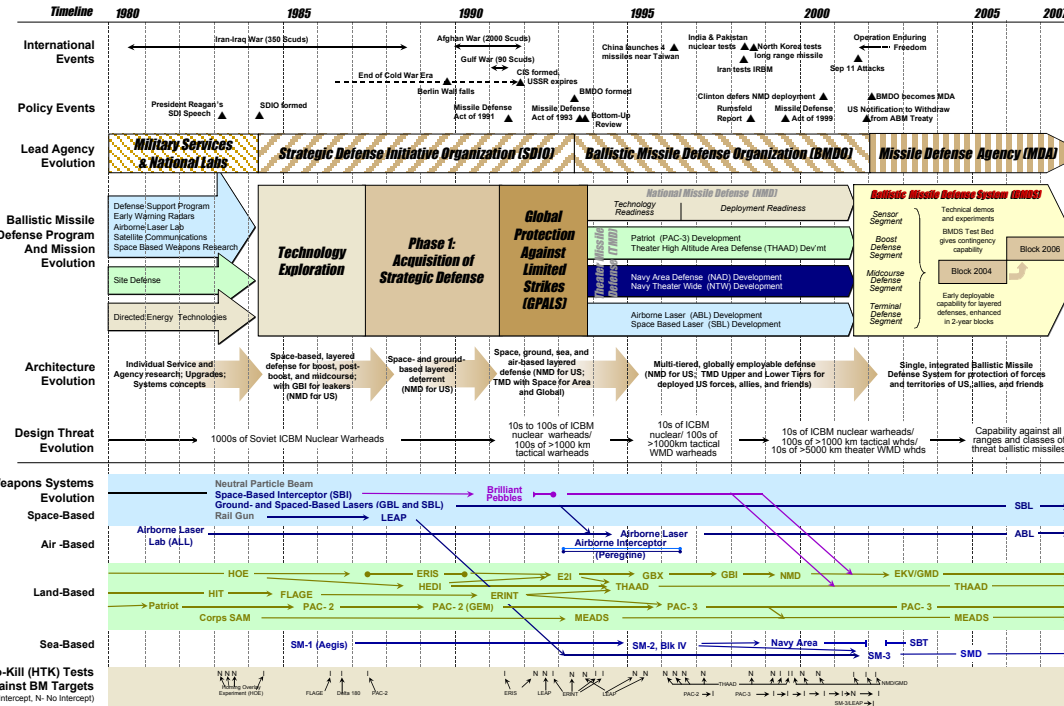
### 4.2.4. Ground to Ground (G2G) - Waffensysteme

*Ground to Ground* - Waffensysteme (G2G-System) existieren seit Jahrzehnten in Form von ballistischen Interkontinentalraketen (ICBM). Denkbar sind auch DEW mit Umlenkspiegeln im Weltraum, um Ziele auf der Erde zu bekämpfen. Dafür kommen allerdings nur intensive Laser-Lichtquellen in Frage, für Partikel- und Maser-Strahlen existieren bisher keine geeigneten Spiegel. Die Tatsache, dass die zur Zerstörung führende Energie mit Hilfe eines Spiegels umgelenkt werden kann, verweist allerdings bereits auf mögliche Gegenmaßnahmen, die die Wirksamkeit solcher Waffensysteme in Zweifel ziehen.

# The Road to Ballistic Missile Defense, 1983-2007

## Missile Defense Milestones

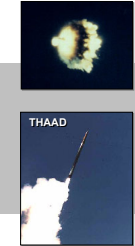
- 26 Jan 02 First SM-3/LEAP Hit-to-Kill Intercept of Exo Target, an Ariete missile
- 2 Jan 02 SECDEF Rumsfeld designates BMDO as MDA, enhances Dir's authority
- 13 Dec 01 Pres Bush Notifies Russia of US Decision To Withdraw from ABM Treaty
- 1 May 01 Pres Bush announces new missile defense program at NDU
- 2 Oct 99 First NMD EKV Hit-to-Kill Intercept of Exo Target, a Minuteman Missile
- 16 Sep 99 First PAC-3 Missile Hit-to-Kill Intercept of Exo Target, a Hera Missile
- 2 Aug 99 First THAAD Missile Hit-to-Kill Intercept of Exo Target, a Hera Missile
- 10 Jun 99 First THAAD Missile Hit-to-Kill Intercept of Exo Target, a Hera Missile
- 21 Aug 98 North Korea Sends Taepo Dong I (TRIM) Missile Over Japan
- 15 Jul 98 Rumsfeld Report Highlights Rogue Nation Threat; US Intel Limitations
- 24 Jan 97 SMD Block IVA Intercepts Lance Target; NTW Goes to EMD
- 26 Aug 96 Israelis Successfully Test Arrow II (Hit-2) Anti-Ballistic Missile
- 15 Feb 94 ERINT Hits Target Missile With Simulated Chemical Warhead
- 30 Nov 93 SECDEF Aspin Designates SDIO as BMDO, Emphasis on TMD
- 13 May 93 Iraqi Scud Hits Saudi Facility, Killing 28 U.S. Service Members
- 19 Jan 91 PAC-2 Air Defense Missile Destroys Iraqi Scud, First Combat BMD
- 14 Jun 89 President Bush Directs BMD Emphasis on Boost Phase Kill Options
- 4 Nov 87 PAC-2 Patriot Missile Destroys Another Missile Simulating an SS-23
- 11 May 87 Testing of Space-based Weapons Is Ruled ABM Treaty Compliant
- 11 Sep 86 Data 189 Experiment Achieved Equivalent of Boost Phase Intercept; Gathered Phenomenology Data for Space Operations
- 27 Jun 86 Flexible Lightweight Agile Guided Experiment (FLAGE) Hits Missile Target in Atmosphere
- 6 Sep 85 Mid-Infrared Advanced Chemical Laser (MIRACL) Destroys Titan Booster in a Test Against Possible Countermeasures
- 10 Jun 84 Army's Homing Overlay Experiment (HOE) Hits Exo Hit-to-Kill
- 27 Mar 84 SECDEF Weinberger Creates SDIO; LtGen Abrahamson, Director
- 23 Mar 83 President Reagan Announces Strategic Defense Initiative (SDI)
- 2 Oct 76 Congress Votes to Close Safeguard System; BMD To Be RAD Only
- 1 Oct 75 Safeguard ABM System, Grand Forks, ND Is Fully Operational
- 28 May 72 Nixon and Brezhnev Sign SALT I Agreements, Including ABM Treaty
- 28 Aug 70 Spartan Missile From Kwajalein Hits Minuteman From Vandenberg
- 14 Mar 69 President Nixon re-orientes BMD As "Safeguard" to Protect US ICBMs
- 18 Sep 67 President Johnson Directs Deployment of "Sentinel" BMD System, with Spartan (Exo) and Sprint (Endo) Nuclear Interceptors, Against "Nth Country Threat."
- 23 Jun 67 Premier Kosygin Rejects Johnson's Request to Give up Galosh ABM
- 19 Jul 62 Nike Zeus Missile Successfully Intercepts a Dummy ICBM Warhead
- 4 Mar 61 Soviet V-1000 Antimissile Conducts First Successful Missile Intercept
- 20 Jan 60 Soviets Claim Firing an ICBM 7,752 nm to within 1.24 mi of target
- 16 Jan 58 SECDEF McNamara Assigns Responsibility for BMD to the Army
- 4 Oct 57 Soviet Union Launches Sputnik, the First Earth Orbiting Satellite
- 1955 Bell Labs Computer Study Shows One Missile Can Hit Another
- 23 Sep 49 First Test of a Soviet Atomic Bomb
- 29 May 46 Stillwell Board Report Recommends US Defenses vs Ballistic Missiles
- 8 Sep 44 First German V-2 Missiles Strike London During World War II



## Elements and Components of...



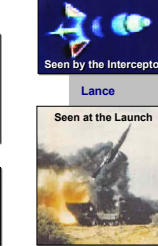
## 1980 PAC-3/ERINT Intercept of Storm Missile



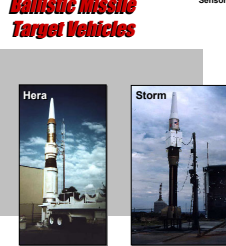
## ...the Ballistic Missile Defense System



## Ballistic Missile Target Vehicles



## Technology and Support



## Directors of Missile Defense Agency, Ballistic Missile Defense Organization, Strategic Defense Initiative Organization

- Ronald L. Kadish**  
Lieutenant General, USAF  
Director, BMDO, 1999-2002; MDA 2002-  
Former Commander, Electronic Systems Center, AF Materiel Command; Program Director for C-17, F-16, and F-15 System Program Office; Director for Manufacturing and Quality Assurance for the B-1; Military Air to the Arctic Staff AF (Acquisition); Chief, Program Integration Division, Office of Sec AF (Acquisition); Graduate of AFSC, OASD, AFCS, CSCE, CSCE, Instructor Pilot, Senior Pilot, MSA, BS (Chemistry)
- Lester L. Lyles**  
Lieutenant General, USAF  
Director, BMDO, 1996-1999  
Former Commander, Space and Missile Systems Center, Commander, Digital Air Logistics Center, Dep. CofS for Requirements, AF System Chief, Director, Modern Launch Vehicles and Space Launch Systems Offices, Director, Tactical Aircraft Systems, AFSC, Chief, Airborne Division, F-16 System Program Office, Graduate of NMC, OASD, Harvard National & International Security Management Ctr. MS, BS (Mech Eng)
- Malcolm R. O'Neill**  
Lieutenant General, USAF  
Director, BMDO, Acting Director, SDIO, 1993-1996  
Former Director, Army Acquisition Corps, Dep. for Program Assessment and Integration, Operations Office, AF/US Army (RDA), Commander, Army Laboratory Command, CofS, Army Missile Command, Project Manager, Missile Launch, Rocket System, Program Manager, Strategic Fire Control Technology, OASD, Dep. NATO, Joint Staff, Graduate Air Force Graduate, AWC, Army & S College PhD, MS, BS (Physics)
- Henry F. Cooper**  
Ambassador  
Director, SDIO, 1990-1993  
Former Senior VP for Strategic Planning, JAWCOR, Chief US Negotiator, Defense and Space Talks with the Soviet Union, Asst. Director, Arms Control and Strategic Agency, Dep. for Asst. Sec. AF for Strategic and Space Systems, Scientific Advisor to AF Weapons Lab, Dep. Director, Nuclear Effects Division, R&D Associate, Faculty, Clemson Univ. Researcher, Int. Telephone, Liaison, PhD, MS, BS
- George L. Monahan, Jr.**  
Lieutenant General, USAF  
Director, SDIO, 1989-1990  
Former Principal Dep. Asst. Sec. AF (Acquisition), Vice Cdr. AF Byc Cnd. Director, Development & Production, Office of Dep. CofS (RDA), Hqs. USAF, Program Director, F-16 Multinational Fighter System Program, AFSC, Chief, F-16 Support System Program Office (Bussell), Asst. Dep. Cdr. F-16 Pgm. Flight Control Office, Gen. Launch Crew, Graduate Air War Coll., Army C&S Cdr. Command Pilot, MS (Electrical), BS
- James A. Abrahamson**  
Lieutenant General, USAF  
Director, SDIO, 1984-1989  
Former Assoc. Administrator for Space Transportation System, NACA, Dep. CofS for Systems, AF Byc Cnd. Director, F-16 Multinational Air Cdr. Flight Pgm. Inspector General, AFSC, CG-455th Test Wing Pgm Mgr, Materiel Missile Pgm Staff, National Aerospace & Space Council, Chief, House Approv. AF Armed Order Lab Pgm, Graduate Air C&S Coll., Aerospace Research Pilot School, Test Pgm MS, BS, Space Eng.

Abbildung 4.3.: Die zeitliche Entwicklung der US-amerikanischen Raketenabwehrprogramme (The Road to Ballistic Missile Defense, 1983-2007).  
Quelle: Federation of American Scientists <http://www.fas.org/spp/starwars/road.pdf>

## 5. Verifikationsmaßnahmen

The purpose of verification is to increase confidence in the implementation of a treaty. An effective verification system reliably detects non-compliance and allows abiding states to credibly demonstrate their compliance. It can also deter non-compliance, depending also on the strength of enforcement measures within the treaty. Verification is necessary for an effective treaty in that it provides an objective trigger for enforcement measures and legitimizes those measures when they are implemented. [BLM06]

---

*Bruneau/Lofquist-Morgan*

Das folgende Kapitel widmet sich einer systematischen Erstellung eines Verifikationsregimes. Es legt die Grundlage, in dem Verifikationsmechanismen im Kontext (Weltraum-) technologischer Konzepte entwickelt werden und diese dann anhand von Typen von Weltraumwaffen angewandt werden. Daraus entsteht eine Matrix zur Identifizierung von benötigten und erweiterten Verfahren für Klassen von Waffensystemen. Durch Zusammenfassung von einzelnen Verifikationsmitteln können für Waffentypen entsprechende Regime-Teile konstruiert werden, die je nach gewünschter technischer Nachweiswahrscheinlichkeit bzw. Sicherheit oder politischer Durchsetzbarkeit kombiniert werden können. Doch zuerst soll untersucht werden, welche Ziele und Probleme auf politischer/diplomatischer Ebene im Kontext der Verifikation zu Tage treten. Verifikation ist ein politisches Instrument, das seine Bedeutung erst durch die großen Rüstungskontrollverträge (CFE (*Conventional Armed Forces in Europe*), NPT etc.) der vergangenen Ost-West-Konfrontation erlangt hat. In der Symbiose aus Vertragswerk und Überprüfungsregime liegt die politische Brisanz aber auch die Wirksamkeit, erst in zweiter Reihe erscheinen die technischen Details, ihre Bedeutung erhalten sie durch Interpretation und Auslegung im Kontext des Vertrages und der geopolitischen Rahmenbedingungen. Auch ein technisch nicht ganz angemessenes Verifikationsregime erfüllt seine Bestimmung in von Vertrauen geprägten politischen Beziehungen. Dabei ist Rüstungskontrolle natürlich kein Selbstzweck, sondern ein Instrument der internationalen Beziehun-

gen. Regina Hagen und Jürgen Scheffran benennen in diesem Zusammenhang fünf Punkte für die politische Einordnung von Rüstungskontrolle und Verifikation [HS03](S. 50):

- Arms control should enhance international stability and reduce the risk of an unrestrained arms race.
- A proper balance should be maintained between the activities that ought to be verified (acceptance threshold) and the activities that can be verified (monitoring threshold).
- Generally, the expenditures for verification should be proportional to the security gain achieved and the risks that remain.
- Verification encompasses several parallel processes. In addition to technical monitoring systems, political, legal, diplomatic and military processes are important factors when it comes to assessing treaty compliance, predicting the risk of cheating and providing for sufficient time to initiate adequate countermeasures in the case of treaty violations.
- Due to the imperfection of available verification means, there remains a residual risk. This can be further reduced by defensive and cooperative measures that offset any advantage a party might gain by cheating.

Verifikation ist kein perfektes, allumfassendes Instrument. Es wirkt im Zusammenspiel mit Vertrauensbildung und verhandelt die Aufgabe von eigener Souveränität mit Erkenntnisgewinn über die vermeintliche (konkurrierende) Gegenseite. Ihr kommt immer dann eine besondere Bedeutung zu wenn es, wie auch immer geartete Schwierigkeiten gibt, technische Ereignisse eindeutig zu interpretieren, um daraus die nötigen politischen Konsequenzen zu ziehen. Richard Bruneau und Scott Lofquist-Morgan führen denn auch drei weitere Gründe an, die eine multinationale Verifikation im Fall eines Verbotsvertrages für Weltraumwaffen über das Normale hinaus auszeichnen [BLM06]:

- Wegen des gefährlichen und unzugänglichen Umfeldes im Weltraum ist bei Schäden an Weltraumobjekten schwierig zwischen natürlichen Ursachen und menschlicher Fremdeinwirkung (Waffenwirkung) zu unterscheiden.

- 
- Weltraumtechnologie besitzt einen ausgeprägten Dual-Use-Charakter und dies trifft nicht minder auf die benötigte Technik für eine Verifikation zu. Nur durch eine transparente multinationale Verifikation können notwendige Maßnahmen (z.B. ein naher Vorbeiflug an einem Satelliten zur Inspektion - *Close-promity Flyby*) als eindeutig friedliche Überprüfung für alle Seiten verifiziert werden.
  - Die Fähigkeit, genaue Kenntnisse über Vorgänge (Manöver, Orbits, Positionen) im Weltraum zu erlangen, ist im Moment wenigen Staaten vorbehalten und beruht auf ihren NTM (*National Technical Means*). Eine Internationalisierung dieses Wissens dient der Vertrauensbildung.

Auf der technischen Ebene bleibt Verifikation immer mit dem Makel behaftet, für Verbotsverträge Nicht-Existenzen von Waffensystemen nachweisen zu müssen. Bei heute gängiger Hochtechnologie, im Falle des NPT Nukleartechnik, in diesem Falle die im selben Maße von Dual-Use-Fähigkeit geprägte Weltraumtechnik, ist eine Verifikation von deklarierten Sachbeständen und Funktionen schwierig genug. Sie gleicht häufig einem asymmetrischen Wettlauf, da für die Verifikation deutlich weniger Finanzmittel bereitstehen als für die Entwicklung der eigentlichen Anwendungen, von der militärischen Nutzung einmal ganz abgesehen. Da erscheint es umso aufwändiger, das Nicht-Vorhandensein einer Technologie auf der Erde und im Weltraum mit ausreichender Sicherheit nachzuweisen. Die folgenden Abschnitte werden u.a. deshalb Verifikation in verschiedenen Phasen der Waffensystementwicklung thematisieren. Einem Verifikationsregime kommt dabei zugute, dass Weltraumanwendungen nur bedingt auf der Erde getestet werden können. Dies trifft auf Weltraumwaffensysteme umso mehr zu, je mehr sie auf große Relativgeschwindigkeiten und Entfernungen, Genauigkeit in Positionierung und Navigation sowie Vakuum (z.B. bei Partikelwaffen) angewiesen sind und darüber hinaus gegen kurzweilige solare Strahlung (UV-, Röntgen- und  $\gamma$ -Strahlung), große Temperaturunterschiede und den Einschlag von Kleinstpartikeln gehärtet sein müssen. Belegt durch die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte kann man mit großer Sicherheit davon ausgehen, dass Weltraumwaffen und ihre Trägersysteme im Zuge der Entwicklung, auf jeden Fall vor der Stationierung, schon wegen der enormen Stationierungskosten, unter realen Bedingungen getestet werden müssen<sup>1</sup>. Mit dem

---

<sup>1</sup>Es bietet sich hier allerdings ein Vergleich mit der Entwicklung von Nuklearwaffen an: Seit dem Ende der Atomwaffentest Mitte der 1990er Jahre geht man davon aus, dass Staa-

Vorbild des *Additional Protocols* (AP) im Verifikationsregime des NPT, das auch Inspektionen bei Forschung und Entwicklung zulässt, wird die Überprüfung eines Verbotsvertrages für Weltraumwaffen Maßnahmen in mehreren Phasen vorsehen müssen.

### 5.1. Mögliche Verifikationsmechanismen

Verifikationsmaßnahmen im Weltraum (*On-Orbit-Inspections*) sind technisch aufwändig und kostenintensiv, wenngleich in einigen Fällen vermutlich unumgänglich. Sie stellen also eine Art *ultima ratio* dar, die letzte Phase in einer Abfolge, die viel früher und schon am Boden beginnen sollte. Sinnvoll ist eine Einteilung in Phasen, die sich an den bei Waffensystemen üblichen Lebenszyklen orientieren und denen dann in einem zweiten Schritt grundsätzliche Verifikationsmechanismen zugeordnet werden können

#### 5.1.1. Verifikationsrelevante Phasen im Produktzyklus von Weltraumwaffen

##### Forschung und Entwicklung

Forschung und Entwicklung (F&E) ist kostengünstig zu überwachen, wegen des Dual-Use-Charakters der Technologie allerdings nicht ohne weiteres zu interpretieren. Da an technologisch komplexen Waffensystemen meist Industriekonsortien oder Großkonzerne arbeiten und solche Systeme eine Vielzahl von Komponenten beinhalten, sind auch eine größere Anzahl von Standorten, Abteilungen und gegebenenfalls Sub-Unternehmen beteiligt. Eine erfolgreiche Verifikation ist in starkem Maße abhängig von einer im Vorfeld erfolgten vollständigen Deklaration. Sonderinspektionen (*Challenge Inspections*) können bei Verdachtsmomenten mehr Klarheit bringen. Inspektionen bei Forschung und Entwicklung können nur zur Überprüfung der Deklaration dienen und müssen in ein komplexeres Regime eingebettet sein. Sie verifizieren in der Regel nur

---

ten wie die USA die Fähigkeit entwickelt haben, durch sub-kritische Tests und Computer gestützte Simulationen neue Waffen auch ohne Kernexplosionen entwickeln zu können. Dennoch bleibt es fraglich, ob in Militärkreisen neue Nuklearwaffentypen ohne bestätigende Tests akzeptiert werden (vergl. dazu u.a.: Tagesspiegel, Ruth Ciesinger, Der Spaltpilz (<http://www.tagesspiegel.de/kultur/archiv/01.07.2006/2624044.asp>) Download 07.07.2006). Das *Reliable Replacement Warheads* - Programm der USA könnte zu einer ernsthaften Probe des von den USA und anderen Staaten nicht ratifizierten CTBT (*Comprehensive Test Ban Treaty*) werden.

Bruchteile einer Gesamtentwicklung und einzelne Teilgebiete besitzen nicht notwendiger Weise typische Eigenschaften von Rüstungsforschung.

F&E spielt sich in zunehmendem Maße auch auf Software-Basis ab. Ein Großteil der heutigen Innovationen findet im Bereich der Steuerung (*Controlling*) und der Datenauswertung (*Microprocessing*) statt. Diese Entwicklungen sind nahezu nicht verifizierbar, da die Quellcodes zu komplex sind und in der Regel wegen des Produktschutzes nicht verfügbar gemacht werden. Allerdings besitzen alle Computer-gesteuerten Systeme Hard- und Software-Schnittstellen (*Interface*), die speziell an die benutzten Komponenten angepasst werden. Aufgrund der Interoperabilität werden solche Schnittstellen meist nach offenen Standards definiert, wodurch eine Systemidentifikation unter Umständen erleichtert werden kann. Strukturangaben (Struktogramme) zu Komponenten und Schnittstellen könnten ohne detailliertes technologisches Eindringen ein wesentlicher Baustein einer Deklaration sein.

Eine weitere Schwierigkeit bei F&E-Einrichtungen stellt die Modularität der Labore dar. Ihre Einrichtung und Ausstattung ist darauf ausgelegt, den Anforderungen schnell und flexibel angepasst werden zu können. Dieser Umstand erschwert eine Verifikation der deklarierten Verwendungen ungemein. Die Inspektoren der IAEA sind mit diesen Tatsachen in den letzten Jahrzehnten immer wieder konfrontiert gewesen, erst seit das *Additional Protocol* (AP) die Möglichkeit von erweiterten Wischproben gestattet, kann die, wenn auch vertuschte Existenz von spaltbarem Material ex-post nachgewiesen werden.

Einer starken technologischen Eindringtiefe muss in jedem Fall im Zuge der Datenauswertung mit entsprechenden Vertraulichkeitsrichtlinien Rechnung getragen werden.

### **Produktion**

Im Gegensatz zur Verifikation nach *Comprehensive Safeguards* und *Additional Protocol* der IAEA besteht bei einer Verifikation von Produktionsanlagen für Weltraumtechnologie nicht die Möglichkeit, nach bestimmten nicht deklarierten Materialien zu suchen oder Mengen eines Materials zu überprüfen und dabei z.B. radiologische Analysemethoden einzusetzen. Für die Anreicherung von <sup>235</sup>Uran zu Waffenzwecken (*Weapon-grade Uranium*, i.d.R. Anreicherungsgrade von mehr als 90 %) können nur Ultrazentrifugen benutzt werden. Zwar bestehen ihre Komponenten zum Teil aus gängigen Produkten (Vakuumtech-

nik, Lager, Heizung, Motoren), wegen ihrer Konfiguration sind sie jedoch gut als solche zu identifizieren. Dies trifft auch auf große Teile der Dual-Use-Technologie zu, die für Weltraumwaffen benutzt werden kann, wegen der Zweckorientierung bei Weltraumtechnologie ist die Unterscheidung jedoch um einiges komplizierter. Die Produktion von z.B. Steuerdüsen, die für die Positionierung eines Satelliten nötig sind, unterscheidet sich natürlich nicht für zivile oder militärische Anwendungen. Die Produktion von hochangereichertem Uran hingegen erfordert eine andere Anlagenkonfiguration als für niedrig angereichertes reaktorgradiges Uran (3,5 - 4,5 %).

Dennoch gibt es einige Schlüsseltechnologien für bestimmte Arten von Weltraumwaffen, die auch heute schon innerstaatlichen und Exportkontrollen unterliegen. Dazu gehören Laser ab einer gewissen Leistungsklasse, unter dem MTCR (*Missile Technology Control Regime*) Teile der Raketentechnologie und in den USA durch nationale Gesetzgebung die gesamte Weltraumtechnologie<sup>2</sup>. Weitere Beispiele für (die Produktion von) Komponenten, die einer Verifikation bei einem Verbotsvertrag unterliegen könnten, werden in den folgenden Abschnitten benannt.

Produktionskontrollen stellen kein so starkes Eindringen in Souveränitäts- bzw. Schutzrechte dar, wie Inspektionen bei F&E-Einrichtungen. Sie können sich bei einzelnen Komponenten auf Materialbilanzen zurückziehen und erfordern geringere Häufigkeit, weil Produktionsstraßen nicht so beliebig schnell und ohne Spuren verändert werden können wie Forschungslabore.

### **Test**

Die Verifikation von Tests für Weltraumwaffen ist das Nadelöhr eines entsprechenden Regimes. Wie schon beschrieben ist es nahezu ausgeschlossen, dass komplexe Waffensysteme ohne realistische Tests stationiert werden. Dabei sind solche in-situ-Tests sicherlich der exponierteste Punkt im Entwicklungszyklus einer Weltraumwaffe. Hierbei müssen annähernd realistische Bedingungen geschaffen werden, selbst bei einer Skalierung des so genannten Testbetts im Vergleich zum später angestrebten Ziel, ist der zu betreibende Aufwand schwer zu verbergen. Das Verbot von Weltraumwaffentests ist das gewichtigste Instrument eines entsprechenden Vertrages. Die zum Einsatz kommenden Mittel zur

---

<sup>2</sup>Dies war in den 1980er Jahren eine Reaktion auf die Forcierung europäischer Konzerne (ESA, Arianespace etc.), in das Weltraumsegment einzusteigen.

Überprüfung sind nahezu mit denen identisch, die auch für die Verifikation eines Einsatzes von Weltraumwaffen nötig sind. Auf sie wird in den Abschnitten 5.2 und 5.3 näher eingegangen.

Wegen der Dual-Use-Technologie dieses Sektor könnte ein potentieller Vertragsbruch, also ein durchgeführter Test, durch die Aufteilung in einzelne, unverdächtige erscheinende Tests oder durch Verschleierung als zivile Operation getarnt werden. Deswegen ist die Notifikation von Operationen und Manövern auf internationaler Basis ein geeignetes Mittel der Vertrauensbildung, und erschwert somit das Unterlaufen eines Testverbots.

Das Verbot von ASAT- und BMD-Tests (BMD, *Ballistic Missile Defense*) hat zudem den positiven Effekt, einer weiteren Verschärfung der Weltraumschrott-Problematisierung entgegen zu wirken.

### **Transport und Stationierung**

Transport und Stationierung sind bei Weltraum-basierten Waffenkomponenten deutlich einfacher durch Inspektionen der Nutzlast vor dem Start zu verifizieren als bei anderen Teilen des Systems. Auf die Details von On-Site-Inspektionen bei Start- und anderen Einrichtungen wird im Nachfolgenden (ab S. 44) eingegangen. Nicht alle Komponenten müssen mit erheblichem technischem und damit leichter verifizierbarem Aufwand stationiert werden. Das von den USA in den 1990er Jahren getestete ALMV (*Air Launches Miniature Vehicle*), wurde von einer F-15 auf Abschusshöhe gebracht und dann gestartet. Es ist auf den ersten Blick nicht unbedingt von einer normalen Luft-Boden-Rakete zu unterscheiden, auch wenn es eine größere Länge aufweist. Das Beispiel zeigt, dass Stationierung oder Transport mitunter nicht stattfinden oder kaum identifizierbar sind.

### **Einsatz**

Der Einsatz von Weltraumwaffen ist der Ernstfall des Vertragsbruches und soll durch die abschreckende Wirkung von Verifikationsmaßnahmen und Ergebnisoffenlegung verhindert werden. Wie schon zu Beginn des Kapitels erwähnt, ist dabei für Weltraumobjekte (Satelliten) eine Diskrimination von Ausfällen durch natürlichen Effekte und Waffeneinwirkung entscheidend. Gerade bei DEW ist der Einsatz nur schwer zu verifizieren, da keine Geschoss-Trajektorien oder andere Spuren von Materie existieren. Die Waffeneinwirkung hin-

terlässt am Zielobjekt zwar nachweisbare Spuren, die im Weltraum aber nur mit erheblichem technischem Aufwand zu identifizieren sind (vergl. On-Orbit-Inspektionen auf Seite 49). Ein direkter Nachweis ist nur im Moment des Einsatzes zu beobachten und setzt globale rund-um-die-Uhr Überwachungskapazitäten voraus. Diese Problematik wird auf Seite 50 thematisiert.

### 5.1.2. Methoden der Verifikation

Einzelne Verifikationsmechanismen unterscheiden sich in Art und Ort des Nachweises, der eingesetzten Technik, der Genauigkeit und Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Detektion sowie in Eindringtiefe und Kostenaufwand. Darüber hinaus kann die politische Wirkung trotz vergleichbarer Effektivität oder technischer Eindringtiefe das eine oder andere Instrument hervorheben. Bei [BLM06] wird eine Gliederung nach den folgenden sechs Mechanismen vorgeschlagen, die in dieser Arbeit übernommen werden soll.

#### On-Site-Inspektionen

können sowohl durch Experten als auch durch automatische Überwachungstechniken und Fernerkundung durchgeführt werden. Wegen der Größe der Einrichtungen und der Komplexität der Technologie kann eine umfassende Verifikation vermutlich nur durch einen Mehr-Ebenen-Ansatz, der alle oben genannten Methoden beinhaltet, gewährleistet werden.

**On-Site-Inspektorenteams** Inspektorenteams können dauerhaft in einer Einrichtung residieren oder zu regelmäßigen bzw. Sonderinspektionen (*Challenge Inspections*) eingesetzt werden. Die große Expertise und das technische Know-How der Inspektoren sind erfahrungsgemäß die entscheidenden Komponenten für die zu erwartende Effizienz. Dauerhafte Verifikationseinrichtungen (Labore) bzw. Teams wurden im Zuge der *Comprehensive Safeguard* der IAEA in den Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield (GB) und LeHague (F) durch eigene Verträge der Anlagenbetreiber mit der ausführenden Organisation EURATOM<sup>3</sup> etabliert und arbeiten den zusätzlich stattfindenden Intervallinspektionen zu. Solche Verfahren wären auch für Großforschungsanlagen, Startanlagen und Produktionsstätten denkbar.

---

<sup>3</sup>EURATOM übernimmt in den Mitgliedsstaaten als regionale Organisation die Verifikationsaufgaben der IAEA.

Inspektoren überprüfen die von den Betreibern bzw. Mitgliedsstaaten abgegebenen Deklarationen, die sich auf Stückzahl und Art des Produktes, Produktionstechnik, Produktionszeiten, möglicherweise Energieverbrauch, Zu- und Ablieferung und Personaleinsatz beziehen könnten. Bei Startanlagen müssen Deklarationen zu den Trägersystemen (Treibstoff, Gewicht, technische Flugdaten) und den Nutzlasten (Zweck, Größe, Gewicht, Materialien, Treibstoff, Auftraggeber, Sensorik, Komponenten, evt. Design- und Baupläne) hinzukommen. Inspektoren sollten den Zustand der installierten Überwachungstechnik (siehe - Automatisierte Fernüberwachung - weiter unten) auf unautorisierte Eingriffe prüfen, die Technik warten und in-situ-Messungen durchführen sowie Proben für spätere Analysen aufnehmen. Zu diesem Zweck können zerstörungsfreie Analysemethoden (Röntgengeräte, Sonographie, Strahlenmessgeräte etc.) eingesetzt werden, wegen des hohen Anteils von metallischen Objekten sollten aber auch auf andere hoch entwickelte Techniken der Materialprüfung und Umwelttechnik (z.B. Spurengas-Analysatoren) zurückgegriffen werden. Größere Anlagenteile oder Produkte können mit 3-D-Laserscannern kartographiert werden um, zu einem späteren Zeitpunkt eine automatisierte Änderungsdetektion durchführen zu können<sup>4</sup>.

Pre-Launch-Inspektionen sind von großer Bedeutung, da sie die einzige kostengünstige Möglichkeit darstellen, die Nutzlast im Endstadium zu verifizieren. Allerdings kann aus der montierten Nutzlast nicht mehr die Vielzahl von Komponenten und ihre Funktion hergeleitet werden. Eine Vor-Montage-Komponenteninspektion erhöht sowohl die Nachweiswahrscheinlichkeit als auch den Aufwand und die Eindringtiefe deutlich. Im Falle von Risikotechnologien im Sinne des Verbotsvertrages könnten solche Maßnahmen aber durchgeführt werden. Freiwillige Inspektionen dieser Art haben erheblichen vertrauensbildenden Charakter.

Eine weitere Aufgabe der Inspektoren sollte in der Versiegelung einzelner Anlagen oder Nutzlasten als Schutz gegen nachträgliche Veränderung bestehen. Für einzelne Nutzlastkomponenten (Satelliten) und Raketstufen wäre eine eindeutige Kennzeichnung (*Tagging*) durch passive (Barcodes) oder aktive *Add-Ons* (Peilsender, digitale Identifikations-sender) wie bei [CG92] vorgeschlagen, denkbar. [HS03] und [NR05] er-

---

<sup>4</sup>Dieses Verfahren wird zur Zeit im *Joint Research Center* der EU-Kommission in Ispra (Italien) für die Verwendung bei den IAEA *Safeguards* getestet. Mehr unter <http://sir.jrc.it/sir/>

wähnen darüber hinaus eine Verifikationssensorik bei Weltraumobjekten, die der Identifikation von feindlichen Angriffen auf den Satelliten dienen soll<sup>5</sup>. Diese und weitere mit dem Hersteller vereinbarte Daten-Schnittstellen der Nutzlast und des Trägersystems (z.B. für Telemetrie-Daten) könnten durch das Inspektorenteam geprüft und/oder initialisiert werden.

So genannte *Challenge Inspections* sollten bei Verdachtsmomenten möglich sein. Ihnen könnte über das Normalmaß hinaus eine besondere Eindringtiefe zugestanden werden.

**Je mehr technische Vereinbarung zwischen der Überprüfungsorganisation und dem Hersteller/Betreiber vorhanden bzw. durch die Verifikationseinrichtung vorgegeben sind, um so höher die Wahrscheinlichkeit einer effizienten und kostengünstigen Verifikation. Ein entsprechendes Regime könnte verpflichtend an die Nutzlast angepasste Schnittstellen vorsehen, deren genaue technische Spezifikationen bei Projektbeginn vertraulich zwischen dem Hersteller/Betreiber und der Überprüfungsorganisation ausgehandelt werden müssen.**

**Automatisierte Fernüberwachung** wird im Zuge der IAEA *Safeguards* oder des INF-Vertrages (*Intermediate Range Nuclear Forces*) vielfach angewandt. Dazu gehören optische und Infrarot-Kameras, Bewegung- und Änderungssensoren, Funksiegel, Röntgenschleusen, 3-D-Sensoren, automatisierte Materialprüfung und zukünftig auch GPS-Sender. Diesen Techniken beruhen auf Datenaufzeichnung und/oder Datenübertragung zu einer entfernten Überwachungsstation, die dann die Auswertung übernimmt. Prinzipiell können solche Verfahren auch für die Überwachung eines Weltraumwaffen-Verbotsvertrages eingesetzt werden. Der Personalaufwand kann dadurch reduziert und die Überwachungsdichte vergrößert werden. Vorstellbar wären automatisierte (Röntgen-)Überwachungsschleusen in den End-Montagehallen der Hersteller bzw. beim Startdienstleister, da dieser Räume in der Regel ohnehin Reinluft-Gebiete sind und schon über entsprechende Schleusensysteme verfügen [CG92].

**Fernerkundung** mit Satelliten-basierter optischer, Infrarot- oder Radar-Technik kann der Warenverkehr und äußere Veränderungen bei Produktions-

---

<sup>5</sup>Mögliche Messdaten wären Beschleunigung, Temperatur, Druck, Betriebsspannung der Bord-Stromversorgung, optische und IR-Sensoren an der Außenhaut, Gravitationssensorik.

und Startanlagen verifizieren. Durch thermisches Infrarot ist zudem erkennbar, in welchen Bereichen gearbeitet wird, wenn die Wärmesignatur von Gebäuden und Fahrzeugen aussagekräftig genug ist. Fernerkundung hat erhebliches Potential für die Verifikation von Rüstungskontrollverträgen [Het03]. Die Auflösung von optischen, zivilen (kommerziellen) Satellitenbildern liegt inzwischen im Sub-Meter-Bereich und erlaubt neben der Detektion auch eine Identifikation und Charakterisierung von Objekten (vergl. z.B. [Dic05]). Darüber hinaus erlaubt die Satelliten-gestützte Fernerkundung auch eine automatisierte Änderungsdetektion, die das Überwachen von größeren Gebieten und Anlagen ermöglicht. Klassifizierungsalgorithmen werden seit einigen Jahren entwickelt und werden vermutlich zu Beginn des nächsten Jahrzehnts einsetzbar sein (vergl. [Nie01]).

### **Start-Detektion und Post-Start Bestätigung**

*(Launch Detection, Post-Launch Confirmation)* bildet den numerischen Rahmen für die weiter oben beschriebenen On-Site-Inspektionen. Nur wenn über die vor dem Start verifizierten Weltraumobjekte hinaus keine weiteren (unangekündigten) Starts erfolgen, kann mit Sicherheit ein nicht überwachter Weltraumzugang ausgeschlossen werden. Startvorgänge können je nach angewandtem Verfahren unterschiedlich verifiziert werden. Raketenstarts von boden- oder seegestützten Basen sind anhand ihrer Rauchspur und der Infrarot-Signatur besonders gut aus dem Weltraum zu identifizieren. Dazu eignen sich einige wenige Satelliten in Orbits oberhalb von 5000 km oder im GEO [CG92]. Vom Boden aus ist es ebenso, allerdings mit einer erheblich größeren Anzahl von Beobachtungsstationen möglich, Treibstoffspuren optisch nachzuweisen. Einfacher ist es Radar-Luftraumüberwachung, wie sie zum Beispiel durch Frühwarn-Radars gegeben ist und/oder die Kommunikation mit der Bodenstation als Ortungsmethode zu nutzen. Dies kann je nach verwendetem Frequenzband über einige hundert bis tausende Kilometer geschehen, auch außerhalb der Sichtlinie. Wegen der unterschiedlichen Ausrichtung einer startenden Rakete zur Bodenstation im Laufe der Boost-Phase werden i.A. keine Richtfunkantennen für die Übertragung von Telemetriedaten aus der startenden Rakete benutzt, so dass von einer breiten Streuung der Signale auszugehen ist. Bereits heute können die Infraschall-Signale startender Raketen aus Luft, Boden und Meerwasser (hydroakustisch) aufgezeichnet und klassifiziert werden. Das durch die

CTBTO (*Comprehensive Test Ban Treaty Organization*) aufgebaute Netz von Verifikationsstationen ist dazu technisch in der Lage<sup>6</sup> [BLM06].

Schließlich können Luft und Bodenproben (*Environmental Sampling*) in der Nähe des Startortes nachträglich Verbrennungsabgase der Treibstoffe (mit Ausnahme von flüssigem Wasserstoff/Sauerstoff) nachweisen.

Starts von luftgestützten Flugkörpern sind prinzipiell mit den gleichen Methoden verifizierbar, da die Flugzeit bis zum Erreichen tief liegender Orbits (LEO) geringer ist und damit die Raketen eine kürzere Brennphase aufweisen, ist eine Identifikation schwieriger. Es ist davon auszugehen, dass auch On-Site-Inspektionen bei Air-to-Space-Flugkörpern von geringer Erfolgswahrscheinlichkeit geprägt sind. Diese Startvorgänge bilden eine technologisch bedingte potentielle Lücke im Verifikationssystem.

Bisher existieren jenseits der oben beschriebenen Startvorgänge keine anders realisierten technischen Lösungen zum Verlassen der Erdatmosphäre. Es gibt aber Pläne für Elektromagnetische Kanonen (*EM-Guns, Rail-Guns*), „Weltraumfahrstühle“ (*Space Lifts*) und Transatmosphärische Flugzeuge. EM-Kanonen erreichen durch elektromagnetische Beschleunigung in einem Rohr Mündungsgeschwindigkeiten im km/s-Bereich und sind somit nicht für den Transport von Menschen geeignet. In kleiner Form werden sie z.B. zur Simulation von Hochgeschwindigkeitseinschlägen (Weltraumschrottpartikel) auf Oberflächen genutzt. Um eine Masse von einigen 100 kg in den LEO zu befördern sind Rohrlängen über 1000 m erforderlich, und es treten Beschleunigungen im Bereich von 1000 g auf [McN03]. Für Materialtransporte sind sie in Zukunft jedoch eine mögliche und preisgünstige Alternative. Die Identifikation solcher Startanlagen ist wegen der enormen Ausmaße relativ einfach, Startvorgänge können durch Infraschall-Detektoren und Bodenradars mit hoher zeitlicher Auflösung, Weltraum-basierter Infrarotüberwachung und Radiometrie<sup>7</sup> gemessen werden. Für so genannte *Spacelifts* gelten ähnliche Annahmen wie für normale Startplätze. Sie müssten, falls jemals technisch realisiert, durch On-Site-Inspektionen überwacht werden.

---

<sup>6</sup>Siehe dazu: CTBTO - <http://www.ctbto.org/verification/overview.html>

<sup>7</sup>Ähnlich wie beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre hinterlassen Flugkörper bei hohen Geschwindigkeit eine Ionisationsspur in der Erdatmosphäre, die noch einige Zeit später nachgewiesen werden kann.

### **Space Situational Awareness (SSA)**

*Space Situational Awareness* stellt ein herausragendes Überwachungsinstrument für alle Vorgänge jenseits der Erdatmosphäre dar. Wie schon in Kapitel 2.1.2 (Seite 17) beschrieben, besitzen die technologischen Mittel zur Realisierung eines *Space Surveillance Systems* (SSS) ausgeprägten Dual-Use-Charakter und ihre Entwicklung ist nicht nur durch die Weltraumschrott-Gefahr sondern auch durch die diversen Raketenabwehrprogramme der USA und der ehemaligen UdSSR getriggert worden. Zu Verifikationszwecken ist es daher erforderlich, das Instrument selbst (Teile oder die gesamte Infrastruktur) oder aber die ihm zugrunde liegende Datenbasis in die Hände einer internationalen Organisation zu legen oder klare vertraglich Regelungen für die Datenweitergabe, -auswertung und -speicherung zu treffen.

*Space Situational Awareness* ermöglicht Aussagen über Zu- und Abgänge zum erdnahen Weltraum, Manöver, Rendezvous, Kollisionen und sonstige Vorgänge sowie Art und Zweck von Weltraumobjekten zu machen. Ein SSS besteht aus einem Netzwerk aus Boden- und Weltraum-gestützten Sensoren (optisch, infrarot, Radar) mit möglicher Auflösung in den cm-Bereich. (Vergl. Kapitel 2.1.2 und 5.2)

### **On-Orbit-Inspektion**

On-Orbit-Inspektion sind schon verschiedentlich für Verifikationsaufgaben vorgeschlagen worden, z.B. im kanadischen PAXSAT-Projekt (vergl. [CG92] und [The04]).

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen bemannten und unbemannten Inspektionsmissionen sowie solchen, die durch dafür vorgesehene Satelliten oder durch andere mit inhärenter Kapazität durchgeführt werden. On-Orbit-Inspektionen sind kostenintensiv und technologisch anspruchsvoll, da die gesamte Palette an technischen Fähigkeiten der Weltraumnationen erforderlich ist, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen. Ohne internationalen Auftrag mit entsprechender Notifikation stellen On-Orbit-Inspektionen ein völkerrechtlich fragwürdiges Eindringen in die Souveränität des Eignerstaates dar oder werden als solches interpretiert und können zu kontraproduktiven Reaktionen führen. Eine Abschätzung solcher Fragen im Hinblick auf ein Kriegsrecht im Weltraum liefert [BH00].

On-Orbit-Inspektionen können durch bemannte Missionen durchgeführt wer-

den. Der Vorteil liegt sicherlich darin, dass Unklarheiten vor Ort ausgeräumt werden können, die Risiken für die Besatzung sind jedoch zur Zeit noch nicht zu vernachlässigen. Darüber hinaus könnten speziell für diese Aufgaben konstruierte Mikro- (10-100 kg) und Nano-Satelliten (1-10 kg<sup>8</sup>) Vorbeiflug- oder Rendezvous-Manöver ausführen, um mit Hilfe von (optischen und/oder Infraroten) Kameras oder Laserscannern Details aufzunehmen. Diese Aufgaben erfordern allerdings ko-orbitale Manöver und somit genaue Informationen über Bahndaten des Verifikationszieles. Einfacher sind *Space to Space Remote Verifications* durch Satelliten auf festen Orbits, die mit Hilfe von Radar, optischen oder infraroten Sensoren aus Entfernungen zwischen hundert und einigen tausend Kilometern Daten sammeln. Dabei können Auflösungen zwischen 1 mm und 1 cm, je nach Entfernung erreicht werden [CG92]. Ein Nachteil könnte sein, dass das Ziel bei einem einzelnen Vorbeiflug meist nur von einer Seite beobachtet werden kann und dass äußere Details genügen müssen, um auf den Zweck des Satelliten und seine Fähigkeiten schließen zu können.

Darüber hinaus können andere sensorische Daten, wie die elektromagnetische Signatur [CG92] oder die Strahlungssignatur [Rod93] aufgezeichnet werden, um Vorgänge aus dem Inneren zu bestimmen. Wie Rodionov in [Rod93] berechnet, müssten dafür aber Entfernungen unter 10 km realisiert werden.

Allgemein gilt, dass die Verifikation von Weltraumobjekten auf die Interpretation äußerer Merkmale angewiesen ist. Dazu können je nach Art des Objekts Größe, Art der Stromversorgung (Solarpanels, RTG (*Radioisotope Thermoelectric Generator*), Nuklearreaktor), Spiegel, Antennen, Sensoren, Antriebseinheit, Steuerungsteile (Düsen) und Schutzvorkehrungen zählen.

### **Einsatz von DEW**

Der Einsatz von *Direct Energy Weapons* (DEW) ist wegen der kurzen Dauer und der Materietransport-freien Wirkung diffizil nachzuweisen. Solange die benutzte Strahlung Teile der Atmosphäre durchqueren muss, können Wechselwirkungseffekte mit den Restgas-Molekülen beobachtet werden. Dazu gehört Brechung und Reflexion, sowie physikalische Effekte zweiter Ordnung, wie Rayleigh-Streuung, Anregung oder Ionisation und chemische Gasreaktionen. Allerdings sind diese Effekte überlagert von normalen, in der Atmosphäre ab-

---

<sup>8</sup>Definition nach [PCG03], wo auch nähere Informationen über den Stand der Technik zu finden sind.

laufenden Prozessen und deswegen schwer zu verifizieren. Leichter lassen sich Reflexionen am Ziel beobachten, insbesondere wenn die Wellenlänge der wirkenden elektromagnetischen Strahlung bekannt ist<sup>9</sup>.

Ein eindeutiger Nachweis lässt sich mit Hilfe von optischen Sensoren an den potentiellen Zielen, insbesondere Satelliten, erbringen. Zusammen mit den eindeutigen Spuren, die bei Einwirkung intensiver elektromagnetischer Strahlung auftreten, ist so zweifelsfrei ein Fremdverschulden detektierbar [BLM06]. Laser und Mikrowellen-Sender der zur Zerstörung über größere Entfernungen benötigten Leistungsklasse haben zudem eine messbare Infrarot-Signatur, die erfasst werden kann, wenn im Vorfeld mögliche Quellen und ihre Positionen bekannt sind [BLM06]. *Air-Borne-Laser* (ABL) oder die Nutzung von Umlenkspiegeln im Weltraum (*Space Based Mirrors*) erschweren allerdings die Verifizierung des Einsatzes von DEW [BLM06].

### Wiedereintrittsdetektion und Klassifizierung

ist wichtig für die Verifikation des Einsatzes von S2G-Waffen. [BLM06] schreibt dazu:

*Research related to meteoroid collisions with the earth's atmosphere has demonstrated cheap methods for accurately detecting and characterizing trajectories of high-speed re-entry objects. Radio frequencies are reflected by the plumes of ionized air behind an object's path, detectable with simple antennae<sup>10</sup>. Explosions, such as those created by 'bolides' when they strike the atmosphere, can be detected with infrasound techniques similar to those used by the CTBTO's IMS.*

Darüber hinaus kann ähnlich wie bei der Start-Verifikation die Hitzespur des Eintrittskörpers mit Hilfe von Infrarot-Satellitendetektoren dokumentiert werden [BLM06].

Pro Tag treffen einige Tonnen Gestein und Staub auf die Erdatmosphäre, der überwiegende Teil ist zu klein und verglüht beim Eintritt, nur wenige größere Gesteinsbrocken (Meteorite) erreichen die Erdoberfläche. Um zwischen solchen Einschlägen und künstlichen Wiedereintrittskörpern (gegebenenfalls Waffen)

---

<sup>9</sup>Für spezielle Wellenlängen z.B. im Infrarot können abgestimmte Detektoren verwendet werden, die eine bis zu 100fache höhere Empfindlichkeit gegenüber Multispektral-Sensoren aufweisen. Vergl. kommerzielle Sensoren z.B bei Thorlabs - <http://www.thorlabs.com>

<sup>10</sup>For example, see Tony Phillips, "Tuning in to April Meteor Showers", NASA, April 1999, [http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast27apr99\\_1.htm](http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast27apr99_1.htm).

unterscheiden zu können, ist eine Kombination der Daten aus *Space Surveillance Systems* und Wiedereintrittsdetektion bzw. Klassifizierung sinnvoll.

Aus den Ausführungen ab Seite 40 wird ersichtlich, dass ein großer Teil der Verifikationstechnologien für mehrere Verifikationsmechanismen genutzt werden kann. Dazu kommt, dass nicht alle technischen Mittel für reine Verifikationsaufgaben oder für die Überwachung speziell des Verbotsvertrages für Weltraumwaffen eingesetzt werden müssen. Umweltsatelliten der ESA bzw. in Zukunft aus gemeinsamen ESA/EU-Projekten wie GMES<sup>11</sup> (*Global Monitoring for Environment and Security*) haben inhärente Kapazitäten für Verifikationsaufgaben (und natürlich auch für sicherheits- und verteidigungspolitische Aspekte, vergl. u.a. [Bur06]). Diese Synergien können zur Kostendämpfung eines zukünftigen Verifikationsregimes genutzt werden.

### 5.2. Verifikation Weltraum-basierter Waffensysteme

Der kommende Abschnitt ist so strukturiert, dass Weltraumwaffen, die mit ähnlichen Verifikationsmechanismen nachgewiesen werden können (weil sie mitunter auf vergleichbaren physikalischen Prinzipien beruhen) zusammengefasst sind. Spezielle Ziele oder Wirkungsweisen einzelner Waffenklassen werden im Anschluss in Unterkapiteln diskutiert. Auf technische Details wird in soweit eingegangen wie sie nicht im Abschnitt 5.1 (Verifikationsmechanismen) ab Seite 40 erwähnt wurden. Die meisten der hier besprochenen Weltraumwaffen existieren (vermutlich) nicht (als System), wurde auch nie getestet aber befinden sich im Planungsstadium oder darüber hinaus. Genaue Angaben zu diesen Typen sind klassifiziert, dennoch sind einige Details aus physikalischen Abschätzungen erschließbar.

#### 5.2.1. Zielunabhängige Waffensysteme

Zielunabhängige Waffensystem, das heißt Klassen von Weltraumwaffen, die sowohl gegen Ziele im Weltraum als auch gegen Ziele auf der Erdoberfläche oder in der Atmosphäre eingesetzt werden können, gliedern sich in drei Kategorien:

---

<sup>11</sup>Informationen zu GMES z.B. unter <http://www.gmes.info>. Entwicklung der Europäischen Weltraumstrategie und politische Einschätzung z.B. bei [Bra04] und [Koh04].

**Laser** Einsatz gegen andere Satelliten (ASAT), gegen hochfliegende (atmosphärische) Ziele und in Form von Raketenabwehrsystemen (*Ballistic Missile Defense Systems*) gegen ballistische Interkontinentalraketen (ICBMs).

**MASER-Waffen und HPM-Waffen** (HPM, *High-Power Microwave*) Einsatz ähnlich wie bei Laser-Waffen.

**KEW** Einsatz von Geschossen gegen andere Satelliten (ASAT) und Wiedereintrittskörper.

### Laserwaffensysteme

Strahlenwaffen (DEW) lassen sich nur mit geringerer Wahrscheinlichkeit beim Einsatz oder Test verifizieren. Der Schwerpunkt der Verifikation dieses Waffentyps muss am Boden liegen, d.h. in der Erkennung und Verhinderung der Stationierung des Waffensystems. Laserwaffen, die über große Entfernungen wirken sollen, müssen große Lichtleistung auf kleiner Fläche vereinen. Dafür sind große Spiegel und Austrittsöffnungen (Aperturen) im Bereich von einem Meter nötig, die bei *Pre-Launch-Inspections* gut zu entdecken sind. Es existieren bislang zwei Klassen von Laserwaffen, die bereits am Boden getestet wurden (vergl. Kapitel 4.2.1 und 4.2.2): Chemische und Festkörperlaser. Für eine mögliche Stationierung solcher Laser ist entscheidend, ob die technischen Hindernisse der Leistungsbereitstellung in Zukunft überwunden werden können. Chemische Laser beziehen die nötige Anregungsenergie, die in einem kurzen Laserprozess wie bei einer Kettenreaktion in Photonen, also einen intensiven Lichtpuls oder kurzen Strahl von einigen Sekunden Dauer umgewandelt wird, aus einer chemischen Reaktion zweier oder mehrere Ausgangsstoffe. Am Ende des Prozesses ist ein Endprodukt elektronisch angeregt und gibt die Anregungsenergie in Form von Photonen ab. Chemische Laser können quasi nachbetankt werden, so dass eine ständige Energieversorgung entfallen kann. Festkörperlaser entsprechender Leistungsklassen sind Dioden- oder Blitzlicht gepumpte Kristalllaser (i.d.R. Nd-YAG-Laser), die eine kontinuierliche Stromversorgung brauchen. Eine Übersicht der derzeitigen Projekte bietet [\[SN\]](#).

Chemische HE-Laser (*High Energy Laser*) wie der THEL (*Tactical High Energy Laser*), ein US-amerikanisch-israelisches Gemeinschaftsprojekt, erreichen Ausgangsleistungen von einige zehn Kilowatt im Infraroten ( $3,8 \mu\text{m}$ ), die geplanten ABL (*Air Borne Lase*) und SBL (*Space Based Laser*) Systeme zur Raketenabwehr in

der Startphase (ABL) und in der Mid-Course-Phase (SBL) werden vermutlich höhere Leistungen bei 1,315 und 2,7  $\mu\text{m}$  benötigen.

Festkörperlaser für Weltraumstationierung wären wegen der erforderlichen Stromversorgung bei *Pre-Launch-Verification* leicht zu entdecken. Auch nach einer Stationierung fallen große Solarsegel als äußere Kennzeichen oder Kernreaktoren durch Hitze- und Strahlungssignatur (zu mindestens im Betrieb) auf.

Chemischer Laser könnten ohne Ausgangsstoffe im Weltraum stationiert werden und anschließend durch Versorgungsflüge betankt werden. Damit sind sie vor dem Start schwerer zu identifizieren. Auch ihnen wäre allerdings eine große Apertur bzw. Spiegeldurchmesser zu eigen, Kennzeichen, die bei Inspektionen auffallen.

### **Maserwaffensysteme und HPM-Waffen**

Maser (*Microwave (Induced) Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) unterscheiden sich von HPM (High-Power Microwave) Waffen, durch die Kohärenz der abgegebenen Strahlung. Maser können im Vergleich zu konventionellen Mikrowellensendern größere Leistung bei geringerer Strahldivergenz erzeugen, allerdings sind sie technisch deutlich aufwändiger und deswegen im Kontext der Waffenentwicklung noch nicht diskutiert.

HPM-Waffen sind allwetterfähig, da sie die Atmosphäre ungestört durchdringen können, besitzen aber nur eingeschränkt eine Möglichkeit zur Fokussierung der abgestrahlten Energie. Sie zerstören i.d.R. nicht die Elektronik der Zielobjekte sondern stören sie nur [PCG03]. Ihre Wirkung ist nachträglich nicht nachzuweisen, der Einsatz also nur schwer und wenn, dann unmittelbar zu detektieren. Auch HPM-Sender benötigen große Energieversorgungen, die wie bei Laser-Waffen einfach zu verifizieren sind. Ein Verifikationsregime sollte schon den Transport (in den Weltraum) und Test solcher Waffen verhindern. Da die Wirkung von HPM-Waffen ungeklärt ist und durch Härtung der Ziele verhindert werden kann, sind sie allerdings selbst bei den Befürwortern einer Bewaffnung des Weltraums umstritten.

### **KEW**

*Kinetic Energy Weapons* profitieren bei Stationierung im Weltraum von den ohnehin hohen Relativgeschwindigkeiten in den Orbits ihrer Trägersysteme. Deswegen kann auf aufwändige Vorrichtungen zur Beschleunigung der Waffen-

teile/Projektile verzichtet werden. Dafür sind solche Systeme ohne vorherige Test nicht denkbar. Neben der Verifikation der Nutzlasten On-Launch-Site und in der Produktion ist vor allem der Test oder Einsatz von KEW durch *Space Surveillance Systems* leicht detektierbar, sofern die Projektile einen Durchmesser größer als 1 cm (LEO) oder 5-10 cm (GEO) aufweisen.

Wiedereintrittskörper zur Zielbekämpfung auf der Oberfläche müssen mit Systemen zur Navigation im Weltraum<sup>12</sup> und Schutzschilden gegen die Hitze beim Durchqueren der Erdatmosphäre ausgestattet sein. Beides sind Merkmale, die bei Vorort-Inspektionen vor dem Start oder während der Produktion leicht zu identifizieren sind. Eine Wiedereintrittsverifikation ist in Kombination mit SSS zudem für die Bestätigung des Test oder Einsatzes einer solchen Waffe erforderlich. Auf On-Orbit-Inspections kann im Zweifelsfall zurückgegriffen werde.

### 5.2.2. Space to Space (S2S) - Waffensysteme

Reine S2S-Waffensysteme sollen zur Bekämpfung von anderen Satelliten oder als Teil eines Raketenabwehrsystems stationiert werden. Zu den in Abschnitt 5.2.1 genannten Waffenkomponenten existieren noch einige spezielle Konzepte, auf die im Folgenden eingegangen werden soll.

#### ASAT - Waffensysteme

**Andocken und Einfangen von Satelliten, Mikrosatelliten** Das Einfangen von Satelliten ist bisher nur bis zu einer gewissen Größe des Zieles realisierbar. Dazu sind derzeit bemannte Raumschiffe, z.B. das NASA Space Shuttle, nötig, die über hoch entwickelte Navigationstechnik sowie entsprechende Vorrichtungen zum Einfangen verfügen. Das solche Mission technisch durchführbar sind, zeigen die zwei Reparaturen des Weltraumteleskops Hubble in den 1990er Jahren. Auch in Zukunft werden sich solche Missionen vor dem Start des Reparaturschiffes nicht verbergen lassen, zu unterschiedlich sind die Anforderungen für Routinevorgänge im Weltraum und Einfangoperationen. Allerdings können die Operationsziele falsch

---

<sup>12</sup>Es sind auch Konzepte ohne direkte Steuerungsmöglichkeiten denkbar, wenn das Projektil gerichtet vom Trägersystem abgeschossen werden kann. Dies erlaubt aber nicht die Bekämpfung jedes möglichen Zieles zu jeder Zeit, wenn nicht mehrere Trägersatelliten im Weltraum stationiert werden.

deklariert werden. Um einen derartigen Betrugsversuch zu verhindern, können deklarierte Missionsdaten, Daten zum Orbit des Zieles und seines Zustands auf Plausibilität geprüft werden. Die Operation an sich kann durch SSS überwacht werden. Da solche Missionen äußerst kostenintensiv sind und längerer Vorbereitungszeit bedürfen, ist die Wahrscheinlichkeit eines unentdeckten Vorgangs gering.

Andockmanöver von Mikrosatelliten an andere Satelliten zum Zweck der Betriebsstörung des Zielobjektes sind nicht notwendiger Weise durch äußere Merkmale des Angreifers zu identifizieren. Das hängt entscheidend davon ab, ob nach dem Kontakt zum Zielobjekt weitere Maßnahmen (Störung des Betriebs oder des Orbits, Datenaustausch über Schnittstellen etc.) vorgesehen sind, oder ob nur das einfache Rammen und Beschädigen (oder Aus-der-Bahn-Bringen) bzw. ein Verdecken von Sensoren angestrebt wird. Neben einer sorgfältigen Prüfung bei *Pre-Launch-Inspections* sollten bei Verdachtsmomenten die geplanten Missionsdaten wie im oben beschriebenen Fall überprüft werden.

Andockmanöver müssen nicht feindliche Absicht haben sondern können auch als Service- oder Betankungs-Operation gedacht sein. Ist das Ziel Teil eines Waffensystems so gilt gleiches für das Servicemodul. Transport von Materialien und Treibstoffen lassen sich bei On-Site-Inspektionen leicht verifizieren, da die Dichte und Menge z.B. des Treibstoffes deutlich abweicht von sonstigen Komponenten.

**Teilchenstrahlwaffen** sind bisher noch nicht konzipiert oder getestet worden.

Für Weltraumanwendungen kommen nur neutrale Atome/Teilchen (NPB, *Neutral Particle Beam*) in Frage, da geladene Teilchenströme im Erdmagnetfeld abgelenkt und aufgeweitet werden [PCG03]. Vorstellbar sind Teilchenströme aus Protonen, die nach der Beschleunigung und Fokussierung neutralisiert werden sowie Neutronen aus einer Spallationsquelle. Beide Verfahren sind auf der Erde nur in wissenschaftlichen Forschungslaboren realisiert und zur Zeit für Weltraumstationierung nicht denkbar. Wegen der enormen Hochspannung (kV bis MV-Bereich), die für die Beschleunigungsstrecken benötigt werden, sind spezielle Hochspannungsgeneratoren erforderlich, die leicht bei On-Site-Inspektionen verifizierbar sind. Die Wirkung von Teilchenströmen am Target sind vielfältig (Stoßwellen, thermische Belastung, Bremsstrahlung), deswegen sind sie prin-

ziell als Waffe gut geeignet [PCG03]. Eine Verifikation des Einsatzes erscheint daher schwierig, die Infrarot-Signatur der Quelle könnte aussagekräftig sein, da die Produktion von Teilchenströmen wegen des Umspinnvorgangs große Mengen an Abwärme erzeugt.

**Nuklearsprengköpfe** sind bereits durch den OST verboten. Sie finden an dieser Stelle nur kurz Erwähnung, da sie zur Kategorie der nicht-konventionellen Waffen gehören. Überlegung zur Verifikation von Nuklearsprengköpfen anhand von Strahlungssignaturen ( $\gamma$ -Strahlung, Neutronen) wurden in den 1990er Jahren von Rodionov [Rod93] angestellt. Der Einsatz und das Testen solcher Waffen ist zudem durch den CTBT verboten, der allerdings noch nicht in Kraft getreten ist, eine Verifikation würde durch die Mittel der CTBTO erfolgen.

### **BMD - Waffensysteme**

Konzepte wie SDI (*Strategic Defense Initiative*) bzw. der Nachfolger GPALS (*Global Protection Against Limited Strikes*) mit einer hoch integrierten Weltraum-basierten Komponente *Brilliant Pebbles* zur Raketenabwehr sind inzwischen überholt oder wurden in Boden-gestützte Programme integriert (vergl. 4.3 auf Seite 36). Sie gelten als zu aufwändig und kostenintensiv. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass es in der Zukunft zu Bemühungen kommen wird, jenseits der oben diskutierten Waffensysteme, solche autonomen Komponenten zu entwickeln und zu stationieren. Ein Überblick über die Entwicklung von Raketenabwehrprogrammen bietet z.B. [GJKW02].

Auch hier gilt, ein Betrieb ohne vorherige Tests ist undenkbar. Die Verifikation kann jedoch schon vor der Stationierung erfolgreich sein. Autonome Weltraumobjekte müssen über eine Vielzahl von Sensoren (Infrarot, optisch, Radar), leistungsstarke Rechner, eigene Antriebssysteme und mehrere Abfangmechanismen verfügen und zahlreich im LEO stationiert werden. Diese typische Zusammensetzung von Komponenten, ihre Gewichtung (z.B. Treibstoff nicht nur für Korrekturmanöver sondern auch zum Wechseln des Orbits) und weiter äußere Merkmale sind auffällig, zudem können solche Systeme wegen ihrer Ausmaße nicht als versteckte Nutzlast transportiert werden. Sind die auf der Erde verfügbaren Startanlagen gut verifizierbar (unter *Safeguards*) und versteckte Starts durch *Launch Detection* mit großer Wahrscheinlichkeit auszuschließen,

dann kann die Stationierung solcher Waffenkomponenten nahezu nicht verborgen werden. Es besteht allerdings Gefahr bei fortschreitender Miniaturisierung der Technik.

### 5.3. Verifikation Boden- und Luft-basierter Waffensysteme

Boden- und Luft-basierte Waffensysteme stellen derzeit die am weitesten vorangetriebene Technologie auf dem Weg zu operativen Weltraumwaffen dar. Laserwaffen können dabei sowohl Ziele im Weltraum als auch mit Hilfe von Weltraum-basierten Spiegeln auf der Erde bekämpfen. Reine G2S-Systeme werden darüber hinaus von Mikrowellenwaffen (MASER, HPM) und EM-Kanonen repräsentiert. Spezielle ASAT-Waffen können sowohl vom Boden als auch aus der Luft gestartet werden und vom Typ *Direct Kill* (nicht ko-orbitale Systeme mit kurzer Flugzeit) oder *Kill Vehicle* (i.d.R. ko-orbitale Systeme) sein.

#### 5.3.1. Zielunabhängige Waffensysteme

In Abschnitt 5.2.1 auf Seite 53 wurden die wesentlichen technischen Details von Laserwaffen beschrieben<sup>13</sup>. Die Verifikation von Laserwaffen am Boden ist durch den Wegfall des für die Stationierung entscheidenden Transports (ins All) vergleichsweise anspruchsvoll. Laserwaffen sind schon heute in kleinen Dimensionen und vermutlich in einigen Jahren als „Vollversion“ transportabel, Energieversorgung eingeschlossen [Gou05].

Für chemische wie auch Festkörperlaser werden zu großen Teilen Standardkomponenten (*Off-the-Shell*) benötigt, einige Ausnahmen gibt es jedoch. Zum Beispiel die benötigten Spiegel von sehr hoher Güte und großem Durchmesser. Die Produktionszahlen solcher Bauteile liegen nach meinen Schätzungen unter 50 pro Jahr, vermutlich existieren auf der Welt nur eine Handvoll Firmen, die in der Lage sind, derartige Spiegel zu fertigen<sup>14</sup>. Ein Annex zum Verifikationsregime könnte eine Liste technologisch besonders relevanter Komponenten aufweisen, die einer Notifikation bei Bestellung und Auslieferung unterliegen.

---

<sup>13</sup>es sei an dieser Stelle auch noch einmal auf [SN] und [PCG03] verwiesen.

<sup>14</sup>Die hier gemachte Abschätzung beruht auf den Erfahrungen meiner Zeit als Laser-Physiker an der TU-Berlin. Laser-Spiegel zeichnen sich durch hohe Reflektivität, selektive Wellenlängenabhängigkeit, Art der Beschichtung und Oberflächengüte aus. Je größer ein Spiegel, umso schwieriger der Herstellungsprozess bei gleich bleibender Qualität. Für exotische Wellenlängen (UV oder Infrarot jenseits 1064 nm) existieren ohnehin nur Spezialanfertigungen.

Da internationale Verträge nach der Ratifizierung zumeist in nationales Gesetz implementiert werden, könnte eine Notifikationsbestimmung für eine in bestimmten Intervallen durch die Vertragsorganisation zu überprüfende Liste mit aufgenommen werden.

Boden- oder luftgestützte Laserwaffen könnten prinzipiell in eingeschränktem Maße gegen Bodenziele getestet werden, wodurch eine Verifikation des Tests, wie in Kapitel 5.2.1 beschrieben, erschwert oder unmöglich wird. Es ist aber davon auszugehen, dass eine operative Laser-Weltraumwaffe, um reale Einsatzbedingungen zu schaffen, auch gegen Weltraumobjekte getestet werden muss. Sollen zudem Weltraum-gestützte Spiegel benutzt werden, besteht die Möglichkeit durch On-Site- und Pre-Launch-Inspektionen weitere Verifikationsmechanismen einzubinden.

Der Einsatz oder das Testen von ABL (*Air Borne Laser*) ist eine Herausforderung für ein mögliches Verifikationsregime, da die Waffe nur kurz aktiv und darüber hinaus beweglich ist und gegen niedrig fliegende Ziele, aber auch gegen Satelliten eingesetzt werden kann. Nach den in Kapitel 3 und 4 genannten Definitionen für Weltraumwaffen könnte die Einordnung des ABL in diese Waffenklasse strittig sein, wenn er gegen Raketen in der Boost-Phase operiert. Wegen der inhärenten ASAT-Fähigkeit, ist eine Aufnahme solcher System in eine Verifikationsregime allerdings wünschenswert.

#### 5.3.2. Ground to Space (G2S) - Waffensysteme

Die verbleibenden konventionellen G2S-Waffen können in drei Kategorien unterteilt werden:

**Elektromagnetische Kanonen** können leicht durch optische und IR-Satellitenbilder, sowie durch Bilder von Radar-Satelliten wegen ihrer Ausmaße von einigen hundert Metern verifiziert werden. Zusätzliche On-Site- und Pre-Launch-Inspektionen geben Aufschluss über Art und Zweck der Nutzlast, *Space Surveillance Systems* können die Flugbahn und mögliche Manöver detektieren. Als ASAT-Waffen sind solche Startvorrichtungen ohnehin nur bedingt tauglich, da sie wegen ihrer Länge nicht ausgerichtet werden können und jegliche Technik im Projektil vermutlich durch die großen Beschleunigungskräfte beim Abschuss des Projektils zerstört würde.

**MASER und HPM-Waffen** eignen sich wegen ihrer Allwettertauglichkeit mehr als Laser-Waffen für ASAT-Zwecke. Die technologischen Schwierigkeiten dieses Waffentypus sind in Abschnitt 5.2.1 beschrieben. Die Verifikation gestaltet sich, ähnlich wie bei Boden-basierten Laser-Waffen schwierig. Da HPM-Waffensysteme jedoch eine starke Streuwirkung aufweisen, werden vermutlich im Umkreis von einigen Kilometern um Stationierungs- und Testgebiet beim Betrieb erhebliche Störung von privaten elektronischen Geräten auftreten, die wahrscheinlich nicht unbemerkt bleiben werden. Satelliten mit Mikrowellen-Detektoren können den Betrieb solcher Sender wegen der Streuwirkung auch dann verifizieren, wenn sie nicht selbst das Ziel eines Angriff sind.

**Direct Kill - Systeme und Kill Vehicles** sind boden- oder luftgestützte Raketen, die ihre Ziele (Satelliten) direkt (*Direct Kill*) und in kurzer Zeit angreifen, oder ein so genanntes *Kill Vehicle* in eine ko-orbitale Umlaufbahn bringen, von wo aus es sein Ziel eigenständig bekämpft [PCG03]. Ein Beispiel für die erste Kategorie ist das US-amerikanische ALMV (vergl. Kapitel 4.2.1) aus den 1980er und 1990er Jahren.

Die Verifikation der Existenz beider Typen ist schwierig, die benutzten Komponenten entstammen dem Kreis üblicher Weltraumtechnologie (Antrieb, Steuerung, Kommunikation, Sensorik) [HS03]. Wie bei den meisten Waffensystemen ist allerdings ein Testen solcher Systeme vor der Stationierung erforderlich, das durch *Space Surveillance Systems* gut verifizierbar ist (vergl. Abschnitt 5.1). Da die Überprüfung von Forschung und Entwicklung sowie Produktion von ASAT-Raketen mit den beschriebenen Verifikationsmechanismen Risiken birgt, ist ein Test-Verbot innerhalb des gesamten Verbotsvertrages erforderlich. Eine Verifikation des Test-Verbots kann abschreckende Wirkung entfalten und durch zusätzliche vertrauensbildende Maßnahmen gestärkt werden.

### 5.3.3. Ground to Ground (G2G) - Waffensysteme

Als mögliche G2G-Systeme könnten neben den oben erwähnten Laser-Waffen mit Weltraum-basierten Umlenkspiegeln ballistische Interkontinentalraketen (ICBMs) mit nuklearen (Mehrfach-) Gefechtsköpfen aufgefasst werden. Als einziger Waffentyp existieren diese bereits, wurden und werden getestet und (Gott sei Dank) noch nie eingesetzt. Es ist äußerst strittig und politisch zur

Zeit nicht durchsetzbar, ICBMs als Weltraumwaffen zu definieren, um sie so in einen Verbotsvertrag einzuordnen. Obwohl diese Art von Waffengattung schon heute besonders gut verifizierbar ist. Die gesamte Frühwarntechnologie der ehemaligen Großmächten USA und UdSSR erfüllt genau diesen Zweck, aus dem INF-Vertrag sind zudem On-Site-Verifikationsmechanismen bekannt und erprobt, die Satelliten-gestützte Aufklärungstechnik diesseits und jenseits des Atlantiks hatte jahrzehntelang die Fernaufklärung möglicher Start- und Produktionsanlagen zur Hauptaufgabe.

### 5.4. Matrix der Komponenten eines Verifikationsregime

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten diskutiert wurde, welche Verifikationsmechanismen existieren und welche möglichen Weltraumwaffensysteme mit Hilfe welcher Mittel in den vier Phasen des Produktzyklus im Sinne eines Verbotsvertrages nachgewiesen werden können, soll jetzt eine Matrix (Tabelle) erstellt werden, anhand derer die Überdeckung einzelner Verbotstatbestände mit Verifikationsmitteln geprüft werden kann. Ziel ist es, mit dieser Matrix ein Verifikationsregime aus einzelnen Komponenten (Tabellenzellen) zusammensetzen zu können. Die einzelnen Komponenten sind durch die Variablen Eindringtiefe (*Intrusiveness*), Detektionswahrscheinlichkeit und Kostenintensität binnenstrukturiert. Da die möglichen Kosten einzelner Verifikationsmittel nicht Thema dieser Arbeit sind, werden Abschätzungen aus [BLM06] übernommen, sofern vorhanden.

Abbildung 5.1 auf Seite 63 zeigt diese Matrix. Zur Erleichterung der Identifikation der nötigen Mittel sind notwendige mit **rot**, vertrauensbildende mit **grün** und empfohlene mit **grau** markiert. Die Einschätzungen sind die Essenz der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Wirksamkeit und bedürfen noch einer eingehenden Untersuchung, für die im Rahmen dieser Arbeit kein Platz ist. Die Gewichtung der freiwilligen Maßnahmen hängt von der Bereitschaft des Akteurs ab, vertrauensbildende Informationen weiterzugeben. Start-Notifikationen können lediglich Uhrzeit und Ort beinhalten und erst einige Minuten vor dem Start verschickt werden. Denkbar sind aber auch detaillierten Informationen zu Trägersystem, Nutzlast, Zielorbit usw. Tage oder Wochen vorher. Es macht Sinn Anreize für ausführliche Notifikation zur Vertrauensbildung zu schaffen. Dazu mehr in Abschnitt 5.4.1.

Es zeigt sich in der Matrix, dass On-Site- bzw. Pre-Launch-Verifikationen ein

günstiges und wirksames Mittel für die Mehrzahl der besprochenen Waffensysteme ist, sofern, Stationierung, Test und Einsatz vertraglich verboten sind. Umfasst der Vertrag auch die Forschung und Entwicklung, so müssen diese Mittel auf die entsprechenden Einrichtungen ausgeweitet werden. Der Erfolg von solchen Inspektionen steht und fällt mit der vereinbarten Eindringtiefe. Es ist wünschenswert, dass die nationalen Raumfahrtagenturen geplante Projekte an die Vertragsorganisation melden und diese mit den Projektbetreibern *Safeguard Agreements* vereinbaren, die projektspezifische Methoden beinhalten. Neben den staatlich vereinbarten *Safeguards* muss also auch die Möglichkeit bestehen, zwischen privaten Akteuren (Unternehmen, Institute usw.) und der Vertragsorganisation Vereinbarung zu treffen, um der zunehmenden Zahl von nicht-staatlichen Akteuren Rechnung zu tragen. Um Nicht-Meldungen zu verhindern, müssen deklarierte regelmäßig und außerordentlich sowie undeklarierte Einrichtungen bei Verdacht durch *Challenge Inspections* (Sonderinspektionen) verifiziert werden.

Die Matrix zeigt auch, dass Weltraum-basierte Verifikationsmaßnahmen wie Fernerkundung und *Space Surveillance Systems* für Startkontrolle und Identifikation von Manövern und Flugkörpern unverzichtbare Bestandteile eines Regimes sein müssen. Sie gehören allerdings zu den kostspieligen Verifikationsmechanismen und können wohl erst mittelfristig bereitgestellt werden. Vergleichsweise günstig kommen On-Board-Sensoren, aktives und passives *Tagging* (Kennzeichnung) und On-Site-Sensoren (automatisierte Fernüberwachung) daher. Sie können zwar eine Stationierung oder ein Testen bzw. Einsetzen von Weltraumwaffen nicht verhindern, erschweren aber die Verschleierung und wirken so vertrauensbildend.

Abschließend kann festgehalten werden: Je früher ein Verbotsvertrag im Lebenszyklus einer Weltraumwaffe einsetzt, desto einfacher und billiger ist es, seine Verifikation technisch durchzuführen. Ein Verbotsvertrag, der Forschung und Entwicklung, Test, Produktion und sogar Stationierung zulässt, also nur den Einsatz verbietet, ist deshalb schwierig, kostenintensiv und letztlich nur im Weltraum selbst zu verifizieren. Um glaubhaft zu sein und effizient verifiziert werden zu können, muss ein Verbotsvertrag bereits mindestens das Testen von Weltraumwaffen untersagen. Sinnvoll ist natürlich, trotz leicht steigendem Verifikationsaufwand, Forschung und Entwicklung ebenfalls auszuschließen, wenigstens für Risikotechnologien, damit gar nicht erst Anreize für ein mögliches Testen von Weltraumwaffen entstehen.

Legende			F & E, Produktion			Stationierung, Test und Einsatz								
			On-Site-Inspektionen	On-Site-Sensoren	Remote Sensing	VSBM		On-Site-Inspektionen Pre-Launch-Inspektionen	Remote Sensing	Launch Detection / Post-Launch Confirmation	Space Situational Awareness (SSA) und Space Surveillance	On-Orbit-Inspektionen	On-Board-Sensoren	Wiedereintrittsdetektion und Klassifizierung
						Pre-Start-Notifikation	Datentransfer							
I(ntrusiveness): 0 – 3 D(etektionswahrscheinlichkeit): 1 – 3 K(osten): 1 – 5														
G2S	DEW	Laser	I3 D1 K2					I3 D3 K2	I1 D1 K5				I0 D3 K3	
		HPM						I3 D2 K2	I1 D1 K5				I0 D3 K3	
	KEW	EM/Rail-Guns	I3 D3 K2		I1 D1 K5			I3 D3 K2	I1 D3 K5	I1 D2 K5	I1 D2 K5			
		Interceptors	I3 D2 K2	I2 D2 K2	I1 D1 K5			I3 D2 K2		I1 D3 K5	I1 D3 K5			
S2S	DEW	Laser	I3 D2 K2					I3 D3 K2	I1 D2 K5	I1 D3 K5	I1 D2 K5		I0 D3 K3	
		HPM						I3 D2 K2	I1 D1 K5	I1 D3 K5	I1 D1 K5	I2 D2 K5	I0 D3 K3	
	KEW	I3 D2 K2					I3 D2 K2		I1 D3 K5	I1 D1 K5	I2 D2 K5			
	Andocken, Einfangen	I3 D3 K2					I3 D3 K2		I1 D3 K5	I1 D3 K5			I1 D3 K4	
	Teilchenwaffen	I3 D3 K2					I3 D2 K2				I2 D3 K5	I0 D3 K3		
S2G	SBL		I3 D2 K2	I2 D2 K2				I3 D3 K2	I1 D2 K5	I1 D3 K5	I1 D2 K5			
	Wiedereintrittskörper	Luftziele	I3 D3 K2					I3 D2 K2	I1 D1 K5	I1 D3 K5	I1 D3 K5	I2 D2 K5		I1 D3 K4
		Bodenziele	I3 D3 K2					I3 D2 K2	I1 D1 K5	I1 D3 K5	I1 D3 K5	I2 D2 K5		I1 D3 K4

Abbildung 5.1.: Verifikationsmatrix: Farbkodierung: **ROT: Erforderliches Mittel**, **GRÜN: Vertrauensbildendes Mittel**, **GRAU: Empfohlenes Mittel**.  
**Eindringtiefe (Intrusiveness) I:** 0 (freiwillig), 1 (mäßig), 2 (mittel), 3 (stark). **Detektionswahrscheinlichkeit D:** 1 (gering), 2 (wahrscheinlich), 3 (sehr wahrscheinlich). **Kosten K:** 1 (<10 M\$), 2 (10-50 M\$), 3 (50-100 M\$), 4 (100-500 M\$), 5 (>500 M\$) nach [BLM06]

### 5.4.1. Entwurf eines Punktesystems für die Verifikation

Welches Land muss sich aber wie vielen Inspektionen unterziehen? Nicht alle Inspektion haben vergleichbare Eindringtiefe, behandeln unterschiedlich sensible Bereiche, wie könnte eine Verteilung aussehen? Wer trägt die Kosten? Spielt der Umfang der Weltraumprogramme eines Landes eine Rolle oder nur seine Größe, Einwohnerzahl etc.?

Solche Fragen sind von entscheidender Bedeutung, damit die Vertragsstaaten einen Eindruck von vergleichbarer „Durchleuchtung“ bekommen und Vertrauen aus gegenseitiger Sicherheitswahrnehmung entstehen kann. Deswegen präsentiere ich als Anstoß für einen Diskussionsprozess in gebotener Kürze einige Ideen zur Lösung oben genannter Fragen:

#### Ein Punktesystem zur Verteilung und Bewertung von Verifikationsaufgaben

- Staaten sammeln durch ein vorgegebenes Verfahren Maluspunkte auf einem Konto. Die Punktevergabe erfolgt alle zwei Jahre, alle vier Jahre können Veränderungen des Bestandes im Vergabesystem berücksichtigt werden.
- Das Vergabesystem und andere Vertragsangelegenheiten werden auf einer Überprüfungskonferenz, die durch die Vertragsorganisation ausgerichtet wird, alle fünf Jahre behandelt.
- Ziel des Systems ist es, durch eine Kombination von vorgegeben und freiwilligen Verifikationsmaßnahmen, das Punktekonto auf oder über Null zu bringen. Bonuspunkte können einmalig über einen Abrechnungszeitraum (zwei Jahre) auf einem Sonderkonto mitgenommen werden, das nur gegen bestimmte Maluspunkte verrechnet werden kann.
- Das Punktevergabeverfahren berechnet die anfängliche Anzahl von Maluspunkte aus den abgegebenen Deklarationen (Anzahl von Einrichtungen, Objekten etc. mit entsprechender Gewichtung durch Größe, Personal, Umsatz, Risikopotential oder vergleichbares), dem wirtschaftlichem Potential eines Staates (Bruttosozialprodukt oder vergleichbares), dem Umsatz der Raumfahrtindustrie gemessen am Bruttosozialprodukt (BSP), und anderen ökonomisch-gesellschaftlichen Größen so, dass Anreize für vollständige Deklarationen bestehen und dennoch ein angemessenes Verhältnis

zwischen Gesamtgröße der relevanten Einrichtungen und Anzahl der Verifikationsmaßnahmen besteht.

- Maluspunkte werden durch durchgeführte Verifikationsmaßnahmen getilgt. Es gibt einen Pflichtteil, dessen Zusammensetzung durch die Vertragsorganisation für jeden Staat und jeden Abrechnungszeitraum festgelegt wird (Intervalinspektionen, Sonderinspektionen, *Pre-Launch Inspections*, andere Missionen, allerdings keine Verdachtsinspektionen) und einen Teil, bei dem der Staat nach festgelegten Regeln frei entscheiden kann, wie er die verbleibenden Punkte abarbeitet. Die Anzahl der Punkte pro Verifikation ist mit der Eindringtiefe und einer Risikoabschätzung gewichtet. Notifikationen sind mit definiertem Informationsgehalt verpflichtend, es können aber durch weitergehende Informationen (also eine größere Eindringtiefe) zusätzlich Punkte gesammelt werden.
- Langfristig erfolgreiche Verifikationsmaßnahmen an einer Einrichtung werden durch Bonuspunkte auf das Sonderkonto vergütet.
- Für einzelne Einrichtungen können eigene Punktesysteme eingerichtet werden.
- Die Nichterfüllung der Verifikationspflicht wird zuerst mit Sanktionen nach dem Statut der Vertragsorganisation nach Ablauf eines Abrechnungszeitraums geahndet. Nach Ablauf einer festzulegenden Reaktionszeit soll an den UN-Sicherheitsrat verwiesen werden.
- Bei Nichterfüllung der Notifikationspflicht können Verdachtsinspektionen durch die Vertragsorganisation durchgeführt werden.
- Bei Nichterfüllung der Deklarationspflicht werden nach Ablauf einer Reaktionszeit Verifikationsaufgaben durch die Vertragsorganisation unter Ausnutzung der Ergebnisse von Sonderinspektionen verbindlich festgelegt.

Das Punktesystem ist darauf angelegt, Anreize für vollständige Deklarationen, intrusive Verifikationen und umfassende Notifikationen zu bieten. Staaten können zu einem gewissen Teil steuernd mitwirken, das Punktekonto garantiert aber eine gleich bleibende Intensität, deren Ziel zu großen Teilen durch die Vertragsorganisation bestimmt wird. Das Punktesystem soll transparent und

einfach sein und technische Fragen zuerst auf der technischen Ebene behandeln. Zugleich ist ausgeschlossen, dass längerfristige Betrugsversuche unentdeckt bleiben.

Natürlich ist dem Autor bewusst, dass die Schwierigkeiten eines solchen Systems in den technischen und politischen Details liegen und die reine Arithmetik nicht vor diplomatischen Untiefen schützt. Eine Lehre aus den EU-3 Verhandlungen mit Iran, die seit Anfang 2006, eher EU-3 + 3<sup>15</sup>, bzw. P-5 + 1<sup>16</sup> Verhandlungen sind, könnte sein, dass Vereinbarungen durch beide Seiten transparent festgehalten werden. Die Erfüllung eines konkreten „Verifikationsgemisches“ kann sicherlich zu verschiedenen politischen Interpretationen führen, auf technologischer Ebene kann jedoch eine signifikante Risikoabschätzung ermöglicht werden. So mancher Politiker wäre im Fall Iran mit dieser Perspektive schon sehr zufrieden...

---

<sup>15</sup>Gemeint sind D, F, GB + USA, Ru und China.

<sup>16</sup>P-5: die fünf Ständigen Mitglieder des UN-Sicherheitsrates und die Bundesrepublik Deutschland.

## 6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hat mögliche Verifikationsmechanismen für einen Weltraumwaffen-Verbotsvertrag auf technischer und politischer Ebene untersucht. Dafür wurde im ersten Kapitel der Stand der rechtlichen Rahmenbedingungen aus Sicht der Rüstungskontrolle in einen politischen Kontext gebracht. Es existieren bereits Konzepte, die auf eine „Verregelung“ des Weltraums hinarbeiten um mit der Erde vergleichbare Bedingungen zu schaffen. Sie wurden in Kapitel 2 umrissen. Mögliche und auf diplomatischer oder wissenschaftlicher Ebene diskutierte Vertragsentwürfe und die darin definierten Verbotstatbestände runden den Einblick in die aktuelle Situation mit Kapitel 3 ab.

Durch eine strukturierte technische Betrachtung in Kapitel 4 wurde ein Überblick über Potential, Entwicklung und Wirkungsweise von möglichen Weltraumwaffen gegeben und politisch motivierte Definitionen solcher Systeme eingeführt.

Der Hauptteil dieser Arbeit widmete sich in Kapitel 5 einerseits einer Strukturierung von Verifikationsmethoden in zeitliche und räumliche Konzepte, andererseits der Anwendung dieser Konzepte auf die vorher diskutierten Typen von Weltraumwaffen. Die Ergebnisse wurden übersichtlich in einer Matrix dargestellt, die neben den Waffengattungen und zugehörigen Verifikationsmechanismen auch Eindringtiefe (*Intrusiveness*), Detektionswahrscheinlichkeit und Kosten beinhaltet. Anschließend wurde ein Vorschlag für ein variables Verifikationsregime mit Punktbewertung skizziert.

Es konnte gezeigt werden, dass jenseits der politischen Schwierigkeiten auf dem Weg zu einem Verbotsvertrag, eine implementierte Verifikation technisch realisierbar ist. Es wurden Stärken und Schwächen einzelner Verifikationsmechanismen aufgezeigt und mit Hilfe der Verifikationsmatrix Einschätzungen für das Design eines Regimes getroffen. Dabei wurde belegt, dass ein umfassendes Verbot mit Tatbeständen für Forschung und Entwicklung, Test, Stationierung und Einsatz mit großer Effizienz verifiziert werden kann. Ein weniger einschränkendes Regime erschwert die Überprüfung sowohl auf technischer als auch auf finanzieller Ebene, das Testen von Weltraumwaffen ist hier das

*corpus delicti.*

Zur Diskussion wurde im letzten Abschnitt (Kapitel [5.4.1](#)) ein System zur Bewertung der Vertragserfüllung gestellt. Der Autor ist für alle Anregungen, Kommentare und natürlich Kritik offen.

## 7. Danksagung

**Ohne die Hilfe und moralische und/oder tatkräftige Unterstützung einiger Menschen in den letzten Monaten wäre diese Arbeit nie möglich gewesen. Ihnen gilt mein aufrichtiger Dank:**

Dr. Götz Neuneck, für die aufmerksame Betreuung auf Augenhöhe, selbst in emotional schweren Zeiten, die Vermittlung ins Auswärtige Amt und die hilfreichen fachlichen Gespräche.

Prof. Hajo Giessmann und dem gesamten IFSH für die Möglichkeit, diesen Studiengang zu absolvieren.

Botschafter Gröning, Leiter Abt. II A im Auswärtigen Amt, für die Möglichkeit eines Praktikums im Herzen der deutschen Abrüstungspolitik.

Fr. Gudrun Isphording, Abt. II A, Referat 240 im Auswärtigen Amt, für die zwei spannenden und lehrreichen Monate am Werderschen Markt, die interessanten Gespräche über EU Weltraumpolitik und Diplomatie im Zeichen des US-amerikanischen Unilateralismus.

den MPS'lern meines Jahrgangs (2005/2006), für diese wunderbare Zeit vom goldenen Herbst 2005 an der Elbe über den schneereichsten Winter der Hansestadt bis zur vierwöchigen Sommer-Fanfest-Fussball-WM-Masterarbeit-Party... *(nie wieder Masterarbeit mit Fussball-WM!!!, Waaaaaagnerrrrrrr!!!!, Guten Abend!)*

Andrea Lopp und René Blaut, ein ums andere Mal für das treue Korrekturlesen einer diesmal nicht ganz so unverständlichen Arbeit.

den vielen Freunden, die mich in all den Jahren durchs Leben begleitet haben!

meiner Band *Broken Dream* (Steffi, Micha, Detlef und Thomas), für die phan-

## 7. Danksagung

---

tastische Zeit beim Musikmachen, Komponieren und einfach nur gemeinsam Spaß haben. Was wäre mein Leben ohne euch...

meiner Familie in Hamburg und Berlin, weil ihr es mir mit eurer Unterstützung ermöglicht habt, jetzt hier zu sein, diese Zeilen zu schreiben, eine wunderbare Zeit in meiner Heimatstadt zu haben! Danke für alles...

und natürlich Julia, für die Liebe, das Vertrauen, das Korrekturlesen und die Unterstützung in dieser aufregenden Zeit!

*Fearless, heavenly received, you don't have to bother, you don't have to stay...*

(Kane, Fearless)

## Anhang A.

### Benutzte Literatur zu Fragen der Verifikation

Sortiert nach Erscheinungsdatum:

- [**BLM06**] BRUNEAU, Richard ; LOFQUIST-MORGAN, Scott: *Verification Models for Space Weapons Treaties: A flexible, layered approach as a negotiating tool*.  
<http://www.carleton.ca/cctc/docs/SpaceWeaponVerificationDraftMay8.pdf>  
Version: Mai 2006, Abruf: 06.07.2006. – UNPUBLISHED - UN Institute for Disarmament Research conference: Building the Architecture for Sustainable Space Security, on March 31, 2006 in Geneva, Switzerland, to be published by UNIDIR in June 2006 (zitiert mit Erlaubnis der Autoren)
- [**Bai05**] BAINES, Phillip J.: Adequate verification: the keystone of a spacebased weapon ban. In: *Safeguarding Space Security: Prevention of an Arms Race in Outer Space (Conference Report 21-22 March 2005)* Bd. UNIDIR/2006. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), März 2005, Kapitel 10, S. 87–100
- [**Zha05**] ZHANYUAN, Duan: Some considerations about the verification issue of preventing outer space weaponization. In: *Safeguarding Space Security: Prevention of an Arms Race in Outer Space (Conference Report 21-22 March 2005)* Bd. UNIDIR/2006. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), März 2005, Kapitel 9, S. 83–86
- [**NR05**] NEUNECK, Götz ; ROTHKIRCH, André: Incentives for space security: technology, transparency and compliance. In: *Safeguarding Space for all: Security and Peaceful Uses (Conference Report 25-26 March 2004)* Bd. UNIDIR/2005. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), März 2005, Kapitel 10, S. 105–118
- [**Sch05**] SCHEFFRAN, Jürgen: Risk reduction and monitoring in outer space. In: *Safeguarding Space for all: Security and Peaceful Uses (Conference Report*

25-26 March 2004) Bd. UNIDIR/2005. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), März 2005, Kapitel 6, S. 69–76

[RN04] ROTHKIRCH, Andre ; NEUNECK, Götz: *Weltraumbewaffnung und Optionen Präventiver Rüstungskontrolle*. Dezember 2004. – Bericht im Rahmen eines Forschungsprojektes gefördert durch die Deutsche Stiftung Friedensforschung am Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik der Universität Hamburg

[The04] THE DELEGATIONS OF CHINA AND THE RUSSIAN FEDERATION TO THE UN-CD: *Verification Aspects of PAROS*.  
<http://www.china-un.ch/eng/cjik/cjblc/t199364.htm>  
Version: August 2004, Abruf: 06.07.2006. – A Non-paper by Chinese and Russian Delegations to the Conference on Disarmament

[HS03] HAGEN, Regina ; SCHEFFRAN, Jürgen: Is a space weapons ban feasible? Thoughts on technology and verification of arms control in space. In: *Disarmament Forum: Making Space for Security?* Bd. UNIDIR/2003. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), 2003, S. 41–52

[Sch02] SCHEFFRAN, Jürgen ; INTERNATIONAL NETWORK OF ENGINEERS AND SCIENTISTS AGAINST PROLIFERATION (Hrsg.): *Option for Rules in Outer Space*.  
<http://www.inesap.org/bulletin20/bul20art02.htm>  
Version: August 2002, Abruf: 06.07.2006

[Rod93] RODIONOV, Stanilav: *Technical Problems in the Verification of a Ban on Space Weapons*. Research Paper. New York : United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), 1993. – ISBN 92– 9045–080–0

[CG92] CLEMINSON, Frank R. ; GASPARINI ALVES, Pericles: Space Weapons Verification: A Brief Appraisal. In: *Verification of Disarmament or Limitation of Armaments: Instruments, Negotiations, Proposals* Bd. UNIDIR/92. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), 1992, S. 177–206

## Anhang B.

### Definitionen für den Begriff Weltraumwaffe

#### B.1. Götz Neuneck und André Rothkirch

Forschungsprojekt gefördert durch die Deutsche Stiftung Friedensforschung am Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik der Universität Hamburg:

*WRW [Weltraumwaffen] sind Objekte, die sich im Weltraum befinden oder aus dem Weltraum wirken und u.a. Satelliten funktionsunfähig machen oder zerstören. Eine „operative WRW“ ist ein Verbund von Startanlage, Satellit und Bodenstationen. [RN04]*

#### B.2. Ambassador Leonid A. Skotnikov

Botschafter Skotnikov ist ständiger Vertreter der Russischen Föderation bei den Vereinten Nationen in Genf:

*In general, the term „space weapons“ means systems or devices, based on any physical principle, launched into the orbit around the Earth or placed in the outer space by any other way, which are produced or converted to destroy, damage or disrupt normal functioning of objects in outer space, as well as targets on the surface of the Earth or in the air. Space weapons are conceived to impact directly adversary's assets, and by its nature can be both weapons of mass destruction or conventional ones, including those based on new physical principles. [Sko04]*

#### B.3. Bhupendra Jasani

Senior Research Fellow, Department of War Studies, King's College London:

*A space weapon is a device stationed in outer space (including the moon and other celestial bodies) or in the earth environment designed to destroy, damage, or otherwise interfere with the normal functioning of an object or being in outer space, or a device stationed in outer space designed to destroy, damage, or otherwise interfere with the normal functioning of an object or being in the earth environment. Any other device with the inherent capability to be used as defined above will be considered as a space weapon. [Jas91]*

#### **B.4. Chinesische UN-CD-Delegation**

Artikel IV des Vorschlags der Chinesischen UN-CD-Delegation [Amb01]:

**Outer Space** is the space above the earth's atmosphere, i.e. space 100 km above the sea level,

**Weapons** are devices or facilities that strike, destroy or disrupt directly the normal functions of a target by various destructive ways,

**Weapon Systems** are the collective of weapons and their indispensable linked parts that jointly accomplish battle mission,

**Components of Weapon Systems** are subsystems that directly and indispensably involved in accomplishing battle missions.

## Tabellenverzeichnis

- 3.1. Übersicht über die Verbotstatbestände, Einrichtung einer Vertragsorganisation, Verifikation und Sanktionsmaßnahmen einzelner Vorschläge für einen Begrenzungsvertrag für Weltraumwaffen. **G2S**: Ground to Space, **S2S**: Space to Space, **S2G**: Space to Ground, **G2G**: Ground to Ground (möglicherweise exklusive ballistische Interkontinentalraketen (ICBM, SLBM)). Vergl. Abb. 4.1 . . . . . 27
- 4.1. Übersicht über die Einteilung von Weltraumwaffen nach ihrer physikalischen Wirkungsweise: KEW (*Kinetic Energy Weapon*), DEW (*Direct Energy Weapon*), NW (*Nuclear Weapon*) und sonstige Weltraumwaffen. Die Tabelle wurde mit Änderungen von [RN04] übernommen. . . . . 32

# Index

## Symbols

Änderungsdetektion ..... 45

## A

ABL ..... 59

Additional Protocol ..... 10, 41

ALMV ..... 34, 43, 60

AP ..... 40

Automatisierte Fernüberwachung 46

## B

Barcode ..... 45

BWÜ ..... 21

## C

C<sup>4</sup>I ..... 27

C<sup>4</sup>ISR ..... 14

CFE ..... 37

Challenge Inspection ..... 44, 46

Comprehensive Safeguards ..... 41

Confidence and Security Building Measures (CSBM) ..... 20

CTBT ..... 40, 57

CTBTO ..... 21, 48, 57

CWÜ ..... 21

## D

DEW ..... 50

Direct Energy Weapons ..... 29 f.

Direct Kill ..... 60

DLR ..... 19

## E

Einsatz ..... 43

EM-Gun ..... 48

EMP ..... 31

European Space Surveillance Network (ESSN) ..... 19

## F

Fernerkundung ..... 46

FMCT ..... 8, 24

Forschung und Entwicklung ..... 40

Funksiegel ..... 46

## G

G2G ..... 27, 29, 35

G2S ..... 27, 29 f., 33

GEO ..... 15

GMES ..... 52

GPALS ..... 57

GPS ..... 27

## H

HEL ..... 53

- 
- I**
- IAEA.....21
- ICBM.....23, 35
- IFSH.....6
- INF.....46
- INTELSAT.....22
- International Academy of Astronautics.....19
- IWSA.....21
- K**
- Kill Vehicle.....60
- Kinetic Energy Weapons.....29 f.
- L**
- Laser.....33
- Laserscanner.....45
- Launch-Detection.....47
- M**
- Maser.....33
- Massenvernichtungswaffen.....7
- MASTER.....17
- McCloy-Zorin declaration.....21
- MTCR.....42
- N**
- NPB.....56
- NPT.....10, 21, 37, 39
- NTM.....24, 39
- Nuclear Weapons.....29, 31
- O**
- OCSO.....21
- On-Orbit-Inspektion.....49
- On-Site-Inspection.....33
- On-Site-Inspektionen.....44
- On-Site-Inspektorenteams.....44
- OPCW.....21
- Orbital Debris.....15
- P**
- PAROS.....8 f., 24, 26
- PGM.....27
- Post-Launch Confirmation.....47
- Post-Start Bestätigung.....47
- Produktion.....41
- R**
- Rail-Gun.....48
- Re-Entry-Detection.....51
- RTG.....50
- S**
- S2G.....27, 29, 35
- S2S.....27, 29, 34
- SBI.....35
- SBL.....35
- SDI.....57
- SLBM.....23
- Space Based Surveillance Systems.....18
- Space Debris.....15
- Space Lift.....48
- Space Preservation Treaty.....24
- Space Security.....11
- Space Situational Awareness.....11, 14, 18, 49
- Space Surveillance Network.....18
- Space Surveillance System.....14, 17, 49, 56, 59
-

Spacelift.....48  
Start-Detektion.....47  
Strahlungssignatur .....57

**T**

Tagging .....45  
Teilchenwaffen.....56  
THEL .....53  
Transatmosphärisches Flugzeug .48

**U**

UN-CD ..... 8, 25 f., 28  
UNIDIR.....6

**V**

Verbotstatbestand ..... 27  
Verifikation ..... 8 – 11, 21,  
24 – 27, 33, 37 ff., 41 – 44, 47,  
50, 53, 55, 57 – 60  
Verifikationssensorik ..... 46  
VSBM.....20

**W**

Weltraumschrott ..... 15  
Weltraumvertrag.....6  
Weltraumwaffentests .....42  
Wiedereintrittsdetektion.....51

## Literaturverzeichnis

- [Alw06] ALWES, Detlef: *Weltraummüll - Space Debris*. [http://www.dlr.de/rd/fachprog/rfs/debris\\_ge.html](http://www.dlr.de/rd/fachprog/rfs/debris_ge.html).  
Version: Juni 2006, Abruf: 25.06.2006 19
- [Amb01] AMBASSADOR HU XIAODI - THE DELEGATIONS OF CHINA TO THE UN-CD: CD/1645 - *Possible Elements of the Future International Legal Instrument on the Prevention of the Weaponization of Outer Space*. <http://cns.miis.edu/research/space/pdf/cd1645.pdf>. Version: Juni 2001, Abruf: 02.07.2006 24, 25, 28, 74
- [Bai05] BAINES, Phillip J.: Adequate verification: the keystone of aspace-based weapon ban. In: *Safeguarding Space Security: Prevention of an Arms Race in Outer Space (Conference Report 21-22 March 2005)* Bd. UNIDIR/2006. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), März 2005, Kapitel 10, S. 87–100 71
- [BH00] BOURBONNIERE, Michel ; HAECK, Louis: Jus in Bello Spatiale. In: *Air & Space Law* 15 (2000), Nr. 1, S. 2–11 49
- [BLM06] BRUNEAU, Richard ; LOFQUIST-MORGAN, Scott: *Verification Models for Space Weapons Treaties: A flexible, layered approach as a negotiating tool*. <http://www.carleton.ca/cctc/docs/SpaceWeaponVerificationDraftMay8.pdf>. Version: Mai 2006, Abruf: 06.07.2006. – UNPUBLISHED - UN Institute for Disarmament Research conference: Building the Architecture for Sustainable Space Security, on March 31, 2006 in Geneva, Switzerland, to be published by UNIDIR in June 2006 (zitiert mit Erlaubnis der Autoren) 37, 38, 44, 48, 51, 61, 63, 71
- [BRA<sup>+</sup>97] BELK, C.A. ; ROBINSON, J.H. ; ALEXANDER, M.B. ; COOKE, W.J. ; PAVELITZ, S.D.: *Meteoroids and Orbital Debris: Effects on Space-*

- craft*. <http://trs.nis.nasa.gov/archive/00000391/01/rp1408.pdf>. Version: August 1997, Abruf: 23.06.2006 15
- [Bra04] BRACHET, Gerard: From initial ideas to a European plan: GMES as an exemplar of European space strategy. In: *Space Policy* 20 (2004), S. 7–15 52
- [Bur06] BURZYKOWSKA, Anna: ESDP and the space sector—defining the architecture and mechanisms for effective cooperation. In: *Space Policy* 22 (2006), S. 35–41 52
- [CG92] CLEMINSON, Frank R. ; GASPARINI ALVES, Pericles: Space Weapons Verification: A Brief Appraisal. In: *Verification of Disarmament or Limitation of Armaments: Instruments, Negotiations, Proposals* Bd. UNIDIR/92. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), 1992, S. 177–206 45, 46, 47, 49, 50, 72
- [Cha03] CHAPMAN, Gary: *An Introduction to the Revolution in Military Affairs*. <http://www.lincci.it/rapporti/amaldi/papers/XV-Chapman.pdf?PHPSESSID=948c80a6fdbbb8>. Version: September 2003, Abruf: 23.06.2006 14
- [CNS05] CNS - CENTER FOR NON-PROLIFERATION STUDIES, MONTE-REY INSTITUTE OF INTERNATIONAL STUDIES: *Current and Future Space Security*. <http://cns.miis.edu/research/space/armscontrol/index.htm>. Version: 2005, Abruf: 30.06.2006 24
- [CWCSE<sup>+</sup>04] COLLARD-WEXLER, Simon ; COWAN-SHARP, Jessy ; ESTABROOKS, Sarah ; GRAHAM, Thomas ; LAWSONAND, Robert ; MARSHALL, William: *Space Security 2004*. <http://SpaceSecurity.org>. Version: 2004, Abruf: 23.06.2006 13, 19
- [Dic05] DICKOW, Marcel: *Fernerkundung - Technische Möglichkeiten der Flugzeug- und Satelliten-gestützten Informationsgewinnung zur Rüstungskontrolle und Verifikation*. Dezember 2005. – Leitfaden zum Vortrag der Sitzung am 13.12.2005: Rüstungskontrolle, Verifikation und Verhandlungen (Unveröffentlicht) 47
- [FLMS02] FISCHER, Horst ; LABUSCH, Reiner ; MAUS, Eckart ; SCHEFFRAN, Jürgen ; INTERNATIONAL NETWORK OF ENGINEERS

- AND SCIENTISTS AGAINST PROLIFERATION (Hrsg.): *Proposed Treaty on the Limitation of the Military Use of Outer Space*. <http://www.inesap.org/bulletin20/bul20art19.htm>.  
Version: August 2002, Abruf: 01.07.2006 24
- [GJKW02] GLEBOCKI, Martina ; JACUBOWSKI, Mirko ; KUBBIG, Bernd W. ; WICKER, Alexander: *Variationen des Themas Raketenabwehr im historischen Längsschnitt*. HSFK Bulletin 39, Internet. <http://www.hsfk.de/abm/bulletin/gljakuwi.htm>. Version: Frühjahr 2002, Abruf: 10.07.2006 57
- [Gou05] GOUVEIA, William: An Assessment of Anti-Satellite Capabilities and their Strategic Implications. In: *Astropolitics* 3 (2005), Sommer, Nr. 2, S. 163–184 58
- [Gre03a] GREGO, Laura: *A History of Anti-Satellite Weapons Programs*. [http://www.ucsusa.org/global\\_security/space\\_weapons/a-history-of-asat-programs.html](http://www.ucsusa.org/global_security/space_weapons/a-history-of-asat-programs.html).  
Version: April 2003, Abruf: 26.06.2006 21
- [Gre03b] GREGO, Laura: *A History of US and Soviet ASAT Programs*. [http://www.ucsusa.org/global\\_security/space\\_weapons/a-history-of-asat-programs.html](http://www.ucsusa.org/global_security/space_weapons/a-history-of-asat-programs.html).  
Version: April 2003, Abruf: 04.07.2006 34
- [Het03] HETTLING, Jana K.: The use of remote sensing satellites for verification in international law. In: *Space Policy* 19 (2003), S. 33–39 47
- [Hit03] HITCHENS, Theresa: *Making Progress: Opportunities for Improving Space Security*. <http://www.stimson.org/space/pdf/FY07SpaceWeapons.pdf>. Version: Mai 2003, Abruf: 26.06.2006 20
- [HKHS06] HITCHENS, Theresa ; KATZ-HYMAN, Michael ; SAMSON, Victoria: *Space Weapons Spending in the FY 2007 Defense Budget*. <http://www.stimson.org/space/pdf/FY07SpaceWeapons.pdf>. Version: März 2006, Abruf: 21.06.2006 8

- [HS03] HAGEN, Regina ; SCHEFFRAN, Jürgen: Is a space weapons ban feasible? Thoughts on technology and verification of arms control in space. In: *Disarmament Forum: Making Space for Security?* Bd. UNIDIR/2003. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), 2003, S. 41–52 [38](#), [45](#), [60](#), [72](#)
- [IAA] IAA - INTERNATIONAL ACADEMY OF ASTRONAUTICS: *IAA Cosmic Study - Space Traffic Management*. <http://iaaweb.org/iaa/Studies/spacetraffic.pdf>, Abruf: 25.06.2006 [19](#)
- [ICI02] ICIS - THE INSTITUTE FOR COOPERATION IN SPACE (CANADA): *Space Preservation Treaty*. [http://www.peaceinspace.com/sp\\_treaty.shtml](http://www.peaceinspace.com/sp_treaty.shtml). Version: 2002, Abruf: 30.06.2006 [24](#)
- [ICI06] ICIS - THE INSTITUTE FOR COOPERATION IN SPACE (CANADA): *Space Preservation*. <http://www.peaceinspace.com/space.shtml>. Version: Juni 2006, Abruf: 30.06.2006 [24](#)
- [IIS05] IISS - INTERNATIONAL INSTITUTE FOR STRATEGIC STUDIES: *Iran's Strategic Weapons Programmes – A Net Assessment*. Routledge, Francis & Taylor, September 2005 [10](#)
- [Int06] INTERPARLIAMENTARY EUROPEAN SECURITY AND DEFENCE ASSEMBLY: *Weapons in space*. [http://www.assembly-weu.org/en/documents/sessions\\_ordinaires/rpt/2006/1932.html](http://www.assembly-weu.org/en/documents/sessions_ordinaires/rpt/2006/1932.html). Version: Mai 2006, Abruf: 25.06.2006 [19](#)
- [Jas91] JASANI, Bhupendra: Introduction. In: JASANI, Bhupendra (Hrsg.): *Peaceful and Non-Peaceful Uses of Space—Problems of Definition for the Prevention of an Arms Race* Bd. UNIDIR/91. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), 1991, S. 1–18 [26](#), [28](#), [74](#)
- [Ken02] KENYON, Ian ; INTERNATIONAL NETWORK OF ENGINEERS AND SCIENTISTS AGAINST PROLIFERATION (Hrsg.): *Space Preservation Treaty: A Comment*. <http://www.inesap.org/bulletin20/bul20art18.htm>. Version: August 2002, Abruf: 01.07.2006 [25](#)

- [Kli] KLINKRAD, H.: *Monitoring Space – Efforts Made by European Countries*. <http://www.fas.org/spp/military/program/track/klinkrad.pdf>, Abruf: 25.06.2006 18, 19
- [Koh04] KOHORST, Pia: *Europäische Weltraumpolitik und Sicherheitsstrategie im Kontext des US-amerikanischen Weltraumstrategie*, Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg (IFSH), Masterarbeit, Juli 2004 52
- [McN03] MCNAB, Ian R.: Launch to Space With an Electromagnetic Railgun. In: *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS* 39 (2003), Januar, Nr. 1, 295-304. <http://www.simulationsllc.com/pdfs/resources/electromagnetic>, Abruf: 10.07.2006 48
- [Mey04] MEYER, Ambassador P.: *Space Security and Prevention of an Arms Race in Outer Space*. [http://www.dfait-maeci.gc.ca/canada\\_un/geneva/Meyer\\_speech\\_Aug26\\_2004-en.asp](http://www.dfait-maeci.gc.ca/canada_un/geneva/Meyer_speech_Aug26_2004-en.asp). Version: August 2004, Abruf: 26.02.2006. – The Permanent Mission of Canada to the United Nations at Geneva 9
- [Nie01] NIEMEYER, Irmgard: *Satelliten und nukleare Kontrolle*, Forschungszentrums Jülich, Dissertation, 2001 47
- [NR03] NEUNECK, Götz ; ROTHKIRCH, André: Space as a New Medium of Warfare? Motivations, Technology and Consequences. In: *Proceedings of the XV Amaldi Conference on Problems of Global Security*. Helsinki, September 2003 31
- [NR05] NEUNECK, Götz ; ROTHKIRCH, André: Incentives for space security: technology, transparency and compliance. In: *Safeguarding Space for all: Security and Peaceful Uses (Conference Report 25-26 March 2004)* Bd. UNIDIR/2005. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), März 2005, Kapitel 10, S. 105–118 45, 71
- [PCG03] PETERMANN, Thomas ; COENEN, Christopher ; GRÜNWARD, Reinhard: *Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim*

Deutschen Bundestag. Bd. 16: *Aufrüstung im All - Technologische Optionen und politische Kontrolle*. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, 2003. – ISBN 3–89404–825–5 [24](#), [29](#), [50](#), [54](#), [56](#), [57](#), [58](#), [60](#)

[RN04] ROTHKIRCH, Andre ; NEUNECK, Götz: *Weltraumbewaffnung und Optionen Präventiver Rüstungskontrolle*. Dezember 2004. – Bericht im Rahmen eines Forschungsprojektes gefördert durch die Deutsche Stiftung Friedensforschung am Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik der Universität Hamburg [15](#), [17](#), [24](#), [28](#), [29](#), [30](#), [32](#), [72](#), [73](#), [75](#)

[Rod93] RODIONOV, Stanilav: *Technical Problems in the Verification of a Ban on Space Weapons*. Research Paper. New York : United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), 1993. – ISBN 92–9045–080–0 [50](#), [57](#), [72](#)

[Sch02] SCHEFFRAN, Jürgen ; INTERNATIONAL NETWORK OF ENGINEERS AND SCIENTISTS AGAINST PROLIFERATION (Hrsg.): *Option for Rules in Outer Space*. <http://www.inesap.org/bulletin20/bul20art02.htm>. Version: August 2002, Abruf: 06.07.2006 [72](#)

[Sch05] SCHEFFRAN, Jürgen: Risk reduction and monitoring in outer space. In: *Safeguarding Space for all: Security and Peaceful Uses (Conference Report 25-26 March 2004)* Bd. UNIDIR/2005. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), März 2005, Kapitel 6, S. 69–76 [71](#)

[Sko04] SKOTNIKOV, Ambassador Leonid A.: *Statement at the Plenary Meeting of the Conference of Disarmament „Prevention of a Arms Race in Outer Space “*. Website der UN Conference on Disarmament, Genf. <http://disarmament.un.org/cd/index.html>. Version: 26. August 2004, Abruf: 09.07.2006 [28](#), [73](#)

[SN] STUPL, Jan ; NEUNECK, Götz: *Laser als Waffensysteme?* <http://www.armscontrol.de/> (IFAR Workingpaper Nr. 9) [53](#), [58](#)

- 
- [Spa03] SPACEY, William L.: Assessing the Military Utility of Space-Based Weapons. In: *Astropolitics* 1 (2003), Nr. 3, S. 1–43 [30](#)
- [The02] THE DELEGATIONS OF CHINA AND THE RUSSIAN FEDERATION TO THE UN-CD, CO-SPONSORED BY VIET NAM, INDONESIA, BELARUS, ZIMBABWE, AND SYRIA ; INTERNATIONAL NETWORK OF ENGINEERS AND SCIENTISTS AGAINST PROLIFERATION (Hrsg.): *Possible Elements for a Future International Legal Agreement on the Prevention of the Deployment of Weapons in Outer Space, the Threat or Use of Force Against Outer Space Objects*. <http://www.inesap.org/bulletin20/bul20art10.htm>. Version: August 2002, Abruf: 01.07.2006 [24](#)
- [The04] THE DELEGATIONS OF CHINA AND THE RUSSIAN FEDERATION TO THE UN-CD: *Verification Aspects of PAROS*. <http://www.china-un.ch/eng/cjkk/cjjblc/t199364.htm>. Version: August 2004, Abruf: 06.07.2006. – A Non-paper by Chinese and Russian Delegations to the Conference on Disarmament [49, 72](#)
- [Wol05] WOLTER, Detlev: *Common Security in Outer Space and International Law*. UNIDIR, 2005 (United Nations Publications UNIDIR/2005/29). – ISBN 92–9045–177–7 [21, 24](#)
- [Zha05] ZHANYUAN, Duan: Some considerations about the verification issue of preventing outer space weaponization. In: *Safeguarding Space Security: Prevention of an Arms Race in Outer Space (Conference Report 21-22 March 2005)* Bd. UNIDIR/2006. United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR), März 2005, Kapitel 9, S. 83–86 [71](#)