

IFAR
IFSH

WORKING PAPER # 10

Januar 2005

Weltraumbewaffnung und präventive Rüstungskontrolle

Götz Neuneck und André Rothkirch

Ergebnisse eines Forschungsprojektes,
finanziert mit Mitteln der Deutschen Stiftung Friedensforschung

GRUPPENPROFIL

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

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

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

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

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

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

Kontakt:

Götz Neuneck

Interdisziplinäre Forschungsgruppe Abrüstung und Rüstungskontrolle

Institute for Peace Research and Security Policy at the University of Hamburg

Falkenstein 1, 22587 Hamburg

Tel.: +49 40 866 077-0 Fax: +49 40 866 36 15

ifar@ifsh.de www.ifsh.de

www.armscontrol.de

Weltraumbewaffnung und präventive Rüstungskontrolle

Götz Neuneck (Projektleiter), André Rothkirch

Januar 2005

Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg (IFSH)
Interdisziplinäre Forschungsgruppe Abrüstung und Rüstungskontrolle (IFAR)
Falkenstein 1, D-22587 Hamburg

Dieser Bericht entstand im Rahmen eines durch Mittel der Deutschen Stiftung Friedensforschung (DSF), Osnabrück finanzierten Drittmittelprojektes. Neben den Autoren haben J. Kuhn, B. Michaelsen und M. Schaaf zur Erstellung dieses Berichtes beigetragen, ebenso die weiteren Mitglieder der Arbeitsgruppe. Für Engagement und konstruktive Kritik gilt ein besonderer Dank P. Kohorst, einen Dank auch an R. Rockel.

Für konstruktive Unterstützung zu Fragen im Themenfeld Weltraumschrott danken wir insbesondere W. Flury, European Space Agency (ESA), Darmstadt sowie C. Wiedemann, Institut für Luft- und Raumfahrtsysteme, Braunschweig. Nicht unerwähnt lassen möchten wir zudem die angenehme Zusammenarbeit mit der Union of Concerned Scientists (UCS), Cambridge, USA und der Beijing University of Aeronautics and Astronautics (BUAA), Peking, China.

written in L^AT_EX,
minor literature update: sep. 2005,
compiled for pdf-file: 23. September 2006 by A. Rothkirch

Projektbericht zum Drittmittelprojekt „Weltraumbewaffnung und Möglichkeiten präventiver Rüstungskontrolle“. Eine kompakte und in Teilen aktualisierte Fassung findet sich in „G. Neuneck und A. Rothkirch, *Weltraumbewaffnung und Optionen für präventive Rüstungskontrolle*, Heft 6 von *DSF Forschung*, Deutsche Stiftung Friedensforschung, Osnabrück, Deutschland, 2006.“ und ist über die DSF zu beziehen.

Kurzfassung

Die Nutzung des Weltraums ist seit dem Beginn der Raumfahrt zusehends intensiviert worden. War diese zu Anfang nur den beiden damaligen Supermächten USA und UdSSR möglich, so engagieren sich mittlerweile weitere Nationen bzw. Akteure in der Raumfahrt und es werden neue Akteure folgen. Dem Weltraum kommt zunehmend sowohl eine militärische als auch eine kommerzielle Bedeutung zu und sein Potenzial ist neuen Strategie- und Visionspapieren zufolge nicht ausgeschöpft. Bisher ist der Weltraum frei von Waffen, obwohl in der Vergangenheit Entwicklung und Tests von Weltraumwaffen betrieben wurde. Politische und technische Kosten vermieden eine Stationierung von Waffen im Weltraum und seitdem wird die Einführung von Weltraumwaffen international als Tabu angesehen. Dieses Tabu könnte möglicherweise fallen, denn mit der Zunahme der Nutzung des Weltraums treten auch im Hinblick auf neue Auffassungen Abhängigkeit und Schutz von Weltrauminfrastruktur bis hin zur gewünschten militärischen Gewaltanwendung aus dem Weltraum in die sicherheitspolitische Debatte.

Der Bericht gibt eine Einführung zur Historie, stellt bereits entwickelte Weltraumwaffen vor und beleuchtet die gegenwärtige Situation der zivilen, kommerziellen und militärischen Nutzung des Weltraums. Es wird auf die Debatte um eine mögliche Bewaffnung des Weltraums eingegangen und die militärische Strategieentwicklung und Bedrohungsdiskussion dargestellt. Neben der Doktrinentwicklung der USA wird auch auf Weltraumpläne anderer Akteure und deren Reaktionen auf die Pläne der US-Administration eingegangen. Beschrieben werden die Weltrauminfrastruktur im Allgemeinen, deren Verwundbarkeit und mögliche Waffenprinzipien im Weltraum. Anhand der Problematik der Weltraumtrümmer wird die Wirkungsweise von kinetisch wirkenden Weltraumwaffen und den Konsequenzen einer Stationierung von Weltraumwaffen bzw. deren Einsatz beschrieben. Vertieft wird diese Untersuchung durch eigene Modellrechnungen über die Realisierbarkeit von kinetischen Anti-Satellitenwaffen mit einfachen technischen Mitteln. Betrachtet wurde ein Szenario, in dem ein Akteur im Besitz von Kurz- oder Mittelstraketen ist und mit diesen eine Sprengladung in den Weltraum transportieren kann. Untersucht wurde die mögliche Realisierbarkeit eines Angriffs durch das Ausbringen von kleinen Trümmerteilen (Metallkugeln) in die Bahn eines Satelliten, um einen solchen durch Kollision zu schädigen oder zu zerstören („Schrottwolken-Szenario“). Die Modellrechnungen umfassen die Entwicklung eines Modells zur Beschreibung von Raketenbahnen und die Modellierung einer Nutzlast aus Metallkugeln zur Simulation einer erzeugten Trümmerwolke. Zudem wurden die Kollisionswahrscheinlichkeiten für Satelliten bei direktem Durchflug durch eine solche Trümmerwolke berechnet. Rechtliche Aspekte und Optionen für Rüstungskontrolle im Weltraum sind ebenfalls Gegenstand des Berichts. Es werden das derzeitige Weltraumrecht, rüstungskontrollpolitische Schwierigkeiten sowie Optionen für eine Verregelung bzw. den zukünftigen Umgang mit der Problematik von Weltraumwaffen vorgestellt.

Abstract

Since the beginning of spacefare the utilisation of space has been continuously intensified. The United States and the former USSR have been the only actors for a long time, nowadays several states and actors are showing engagement in space and more are to come. Space becomes an increasingly significance in military and commercial applications and according to new strategics and space visions its fully potential has not been reached. Until today, space has been remained free from weapons, although reseach, development and tests have undergone in the past. The stationing of weapons in space has been prevented by political and technical costs and the introduction of space weapons is being considered a tabu since. This tabu might fall, because

with increasing use of space views concerning the dependence and the protection of space assets as well as desires on the use of force out of space have arisen.

This report gives an introduction on space history and already developed space weapons and summarises the current situation of civil, commercial and military use of space. It discusses the current debate on space weaponization and describes the development in military doctrines and the threat discussion. Doctrines being discussed in the US are taken into account as well as plans about space of other nations. Space infrastructure, its vulnerability and possible weapon principles are described in common. Using the already existing problem of space debris the principle of kinetic energy weapons and consequences of stationing space weapons and their use is covered. Research is deepened by own model calculations about the realisation of a kinetic anti-satellite weapon by simple technical means. Model assumption is an actor possessing short or medium range missiles and is thus capable to bring an explosive into space. Investigations have been deepened on the possibility to attack a satellite by placing debris (metal pellets) into its path to harm or destroy it by collision („debris cloud scenario“). Investigations include the development of a model to describe rocket trajectories as well as assumptions for a payload to generate a debris cloud. Collision probabilities are calculated for satellites traveling along a direct path through a debris cloud. The report also includes legal aspects and options for space arms control. The current space law and difficulties in arms control policy are introduced and options for rules and future treatments on behalf of space weapons are given.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	v
Abkürzungs- u. Symbolverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
2 Die Nutzung des Weltraums	3
2.1 Die Anfänge der Raumfahrt	3
2.2 Existierende Weltraumwaffen und Waffen mit Aufprallfunktion	3
2.3 Die Gegenwart der Raumfahrt	5
2.3.1 Die Märkte der Raumfahrt	6
2.3.2 Die zivile und kommerzielle Nutzung des Weltraums	8
2.3.3 Die militärische Nutzung des Weltraums	11
2.3.4 Weltraumsicherheit	20
3 Anhaltspunkte für eine mögliche Bewaffnung des Weltraums	21
3.1 Doktrinentwicklung in den USA	21
3.1.1 Bedrohungsanalysen in den USA	21
3.1.2 Pläne zur Nutzung des Weltraums	26
3.1.3 Umsetzung	28
3.2 Pläne anderer Nationen	30
3.3 Reaktionen auf die Pläne der US-Administration	33
3.4 Raketenabwehrprogramme in den USA	34
3.4.1 Die Neudefinition der Ziele von BMD unter der Bush-II-Administration	34
3.4.2 Umstrukturierung der Raketenabwehrprogramme: Von NMD zu „Global Missile Defense“	35
3.4.3 Technologische Umsetzung der mehrschichtigen „Global Missile Defense“	36
3.4.4 Schwerpunkt „Emergency Defense“	39
3.4.5 Politische Implikationen der Raketenabwehr	39
4 Weltrauminfrastruktur und Weltraumwaffen	41
4.1 Weltrauminfrastruktur und Verwundbarkeit von Satelliten	41
4.2 Weltraumwaffen	44
4.2.1 Waffenprinzipien (im Weltraum)	44
4.3 Weltraumtrümmer	48
4.3.1 Herkunft und Klassifikation von Weltraumtrümmern	48
4.3.2 Räumliche Verteilung und Lebensdauer von Weltraumtrümmern	50

4.3.3	Schutzmaßnahmen	56
4.4	Modellrechnungen zu kinetischen Weltraumwaffen	58
4.4.1	Allgemeine Modellbeschreibung	59
4.4.2	Modellierung der Raketentrajektorie	59
4.4.3	Annahmen zur Beschreibung der Raketen	63
4.4.4	Modellergebnisse 1: Erreichbare Höhen und Geschwindigkeiten der Raketen	65
4.4.5	Modellierung der Nutzlast	68
4.4.6	Modellergebnisse 2: Nutzlasten	70
4.4.7	Abschätzung zum Kollisionsrisiko	74
4.4.8	Zur weiteren zeitlichen Entwicklung der ausgebrachten Trümmerwolke	78
5	Rechtliche Aspekte und Optionen für (präventive) Rüstungskontrolle im Weltraum	82
5.1	Das Weltraumrecht und weitere Abkommen	82
5.2	Rüstungskontrollpolitische Schwierigkeiten	85
5.2.1	Zur Definition einer Weltraumwaffe	86
5.3	Einige Vorschläge zur Ächtung von Weltraumwaffen	87
5.3.1	(Präventive) Rüstungskontrolle und der Weltraum	88
5.3.2	Vorschläge von Staaten zur Verbesserung von <i>space security</i>	89
5.3.3	Weitere Schritte zur Ächtung von Weltraumwaffen	92
5.3.4	Nächste Schritte zur Ächtung von Weltraumwaffen	99
6	Zusammenfassung und Empfehlungen	101
A	Anhang	108
A.1	Raketenabfang durch Splittergefechtsköpfe	108
A.2	Abschätzung zur Bahngeschwindigkeit von Satelliten	108
A.3	Status ausgewählter Satelliten	112
A.4	Bahngrößen militärischer Satelliten (Auswahl)	113
A.5	Weitere Beispiele zur zeitlichen Entwicklung der Trümmerwolke	120
A.6	Chinesisch-Russischer-Vorschlag	123
A.7	Resolution A/1348(XIII) der Vollversammlung der Vereinten Nationen	127
	Literaturverzeichnis	129

Abbildungsverzeichnis

2.1	Das russische Jagdsatellitensystem Istrebitelny Sputnik (IS).	4
2.2	Das amerikanische „F15-ASAT“-System (ALMV).	5
2.3	Weltweite Erlöse in der Satellitenindustrie	7
2.4	Anzahl von Satellitenstarts	8
2.5	Beispielszenen kommerziell verfügbarer Satellitenbilder (US-Satellit)	10
3.1	Visionen der US Space Commission	23
4.1	Satelliten und ihre Bodenkomponenten (Skizze)	41
4.2	Bahnhöhen von Satelliten (nicht geheim)	43
4.3	Illustration zu Schäden an Raumfahrzeugen durch Weltraumtrümmer	51
4.4	Illustration zur Long-Duration Exposure Facility (LDEF)	53
4.5	Modellergebnisse zur Beschreibung von Weltraumobjekten (Beispiele)	55
4.6	Illustration von und zur Wirkungsweise von Mehrfachschilden	56
4.7	Modellrechnungen zur Widerstandsfähigkeit von Schutzschilden	57
4.8	Illustration des angenommenen Szenarios.	59
4.9	Schematische Darstellung zum Raketenmodell	60
4.10	Zur Atmosphärenbeschreibung	62
4.11	Illustration zur Schubrichtung	64
4.12	Erreichbare Höhen der angenommenen Raketentypen bei senkrechtem Flugpfad.	65
4.13	Erreichbare Höhen und Geschwindigkeiten des zweistufigen Raketentyps (a)	66
4.14	Erreichbare Höhen und Geschwindigkeiten des zweistufigen Raketentyps (b)	67
4.15	Illustration zur Aufbau der angenommenen Nutzlast.	68
4.16	Illustration zur Bestimmung von Abständen einzelner Metallkugeln	74
4.17	Skizze zur Benennung von Abständen	76
4.18	Kollisionswahrscheinlichkeiten nach D. Wright	79
4.19	Zur zeitlichen Entwicklung einer Nutzlast (1)	81
5.1	Illustration zur Definition einer Weltraumwaffe.	86
A.1	Bahngeschwindigkeiten und Umlaufzeiten von Satelliten auf Kreisbahnen	110
A.2	Bahnelemente zur Beschreibung der Bahn eines Himmelskörpers oder Raumfahrzeugs	111
A.3	Zur zeitlichen Entwicklung einer Nutzlast (2a)	120
A.4	Zur zeitlichen Entwicklung einer Nutzlast (2b)	121
A.5	Zur zeitlichen Entwicklung einer Nutzlast (3a)	122
A.6	Zur zeitlichen Entwicklung einer Nutzlast (3b)	123

Tabellenverzeichnis

2.1	Ausgaben bzw. Erlöse im Weltraumsektor in 2003	6
2.2	Benennungen von militärischen US-Satelliten in verschiedenen Anwendungsbe- reichen	13
2.3	Anzahl von US Militärsatelliten	14
2.4	Maßnahmen und Vorhaben mit Bezug zu einer militärischen Nutzung des Welt- raums in der EU (Auswahl)	16
2.5	Maßnahmen und Vorhaben mit Bezug zu einer militärischen Nutzung des Welt- raums in den USA (Auswahl)	17
2.6	Vorhaben mit militärischem Anwendungspotential – Transatmosphärische Flug- zeuge/Space-Plane	19
2.7	Indikatoren zur Weltraumsicherheit 2004	20
3.1	Planungen und Visionen in der Doktrin der US-Administration	24
3.2	Missionen für künftige Weltraumwaffen	25
3.3	Definition und Maßnahmen von Counterspace Operations im Rahmen der <i>Air</i> <i>Force Doctrine</i>	26
3.4	Planungen von Waffensystemen des US Space Command	27
3.5	Zeitplanung und Ziele im „Strategic Master Plan“	28
3.6	Übersicht zu den Budgets einiger Raketenabwehrprogramme	30
3.7	Die Neustrukturierung der BMD-Programme seit 2002	36
3.8	Übersicht zu den Tests des Ground Based Midcourse Systems	37
4.1	Übersicht zu den Wirkungen, Vor- und Nachteilen möglicher Weltraumwaffen.	45
4.2	Klassifikation von Weltraumschrott nach Herkunft und Größe	49
4.3	Mittlere Zeitspanne zwischen <i>debris</i> -Einschlägen	50
4.4	Datenquellen im Modell ORDEM2000.	53
4.5	Vergleich der Dichte verschiedener Referenzatmosphären.	63
4.6	Verwendete Raketenparameter im Modell.	64
4.7	Eingangs- und resultierende Größen zur Nutzlastbeschreibung (Auswahl)	72
4.8	Geschwindigkeiten verschiedener Schichten der Nutzlast bei verschiedenem α	73
4.9	Winkeldifferenzen zwischen benachbarten Kugeln innerhalb einer Kugelschale	75
4.10	Verteilungen von Metallkugeln im Raum	77
4.11	Beispiel für Kollisionswahrscheinlichkeiten	78
5.1	Einzelmaßnahmen für „Rüstungskontrolle im Weltraum“	89
A.1	Anfängliche Schrapnellgeschwindigkeiten eines Gefechtskopfes mit Splitterwirkung	108
A.2	Status ausgewählter Satelliten	113
A.3	Bahngrößen militärischer Satelliten (Auswahl)	119

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

α	Geschwindigkeitsverhältnis	r_X	Radius eines Körpers X
Δv	Geschwindigkeitsdifferenz (Betrag)	T	Temperaturangabe, z.B. die Temperatur einer Atmosphäre T_{ATM}
γ	Gravitationskonstante	t	Zeit
λ	Wellenlänge	U	Umlaufzeit
Ω	Winkeldifferenz	ABL	Airborne Laser
ρ_{ANFO}	Energiedichte des Sprengstoffes „ANFO“	ABM	Anti Ballistic Missile
ρ_X	Dichte eines Körpers X	AFDD	Air Force Doctrine Document
\vec{F}	Kraftvektor	AFRC	Air Force Reserve Command
\vec{v}	Geschwindigkeitsvektor	ALFLEX	Automatic Landing Flight Experiment
\vec{x}	Ortsvektor	ALMV	Air Launched Miniatur Vehicle
A	(Querschnitts)fläche	AMS	Advanced Meteorological Satellite
a	große Bahnhalbachse einer Ellipse oder Formfaktor	AP	Apogäum
b	kleine Bahnhalbachse einer Ellipse	ASAT	Anti-Satelliten(waffen)
c_G	Gurney-Konstante	ATM	Atmosphäre
c_w	Luftwiderstandsbeiwert	ATSR	Along Track Scanning Radiometer
d	Abstandsangabe	AWACS	Airborne Warning and Control System
dm/dt	Massenfluss	BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
E	Energie	BMD	Ballistic Missile Defense
e	Exzentrizität einer Ellipse	BMEWS	Ballistic Missile Early Warning System
$F1$	Entfernung des Brennpunktes vom Mittelpunkt einer Ellipse	BOC	Besoin Operationelle Commun
h	Höhenangabe	BSTS	Boost Surveillance Tracking System
m_X	Masse eines Körpers X	BUAA	Beijing University of Aeronautics and Astronautics
P	Wahrscheinlichkeitsangabe, z.B. die Gesamtwahrscheinlichkeit einer Kollision eines Satelliten mit mindestens einer Kugel einer Trümmerwolke P_{ges} (Kollision).	C^2	Command & Control
p	Druckangabe, z.B. der Druck einer Atmosphäre p_{ATM}	C^4I	Command, Control, Communication, Computers and Information

CAV	Common/combat aerial vehicle	EuReCa	European Retrievable Carrier
CD	Conference on Disarmament	EUTELSAT	European Telecommunications Satellite Organization
CEP	Circular Error Probability	EW	Electronic Warfare
COPUOS	Committee on the Peaceful Use of Outer Space	FDE	Force Development Evaluation
CS	Counterspace	FMCT	Fissile Materials Production Cut- Off Treaty
CTBT	Comprehensive Test Ban Treaty	FOC	Full Operation Capability
DCS	Defensive Counter Space	FY	Fiscal Year
DEW	Directed Energy Weapon	GEO	Geostationary Orbit
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	GEODSS	Ground-Based Electro-Optical Deep Space Surveillance
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program	GHPS	Geodätischer Hochpräziser Posi- tionierungs-Service
DoD	Department of Defense	GMD	Global Missile Defense
DSATs	Defensive Satellites	GMES	Global Monitoring for the Envi- ronment and Security
DSCS	Defense Satellite Communication System	GMOSS	Global Monitoring for Stability and Security
DSF	Development Flight Satellite	GMTI	Ground Moving Target Indicator
DSP	Defense Support Program	GOME	Global Ozon Monitoring Experi- ment
DSPI	DSP Improved	GOX	GPS occultation receiver
DTRA	Defense Threat Reduction Agen- cy	GPALS	Global Protection Against Limi- ted Strikes
E-O	Electro-Optical	GPPS	Geodätischer Präziser Positionie- rungs-Service
E2E	earth-to-earth	GPS	Global Positioning System
E2S	earth-to-space	GSD	Ground Sample Distance
EIS	Earth Imaging System	GSO	Geosynchronous Orbit
EKV	Exoatmospheric Kill Vehicle	GV	Generalversammlung
ENMOD	Environmental Modification (Convention)	HAX	Haystack Auxiliary (Radar)
EPS	Echtzeit-Positionierung	HEPS	Hochpräziser Echtzeit-Positionie- rungs-Service
ERIS	Exoatmospheric Reentry Vehicle Interceptor System	HS	Hyperspektral
ESA	European Space Agency	HSFD	High-Speed Flight Demonstrati- on
ESVP	Europäische Sicherheits- und Verteidigungspolitik	HSI	Hyperspectral Imagery
EU	Europäische Union	HST	Hubble Space Telescope
EUMETSAT	European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites		

HYFLEX	Hypersonic Flight Experiment	MVW	Massenvernichtungswaffe(n)
ICBM	Intercontinental Ballistic Missile	NASA	National Aeronautics and Space Administration
IDSCS	Initial Defense Satellite Communication System	NDS	Navigational Development Satellite
IFSH	Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg	NFIRE	Near Field Infrared Experiment
IFT	Integrated Flight Test	NGO	Non-Governmental Organisation
IMEWS	Integrated Missile Early Warning System	NMD	National Missile Defense
INF	Intermediate-Range Nuclear Forces	NNSS	Navy Navigational Satellite System
IPR	Impulse Response	NOAA	National Oceanic Atmospheric Administration
IS	Istrebitelny Sputnik	NORAD	North American Aerospace Defense command
ISMA	International Satellite Monitoring Agency	NOSS	Naval Ocean Surveillance System
ISR	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance	Nova	Nova Military Navigational Satellite
ISS	International Space Station	NPS	Nuclear Power Source(s)
JSTARS	Joint STARS	NRO	National Reconnaissance Office
KEW	Kinetic Energy Weapon	NSS	National Security Strategy
LBSD	Land Based Strategic Deterrence	NTM	National Technical Means
LDEF	Long-Duration Exposure Facility	NTS	Navigation Technology Satellites
LEO	Low Earth Orbit	NTW	Navy Theater Wide
LTBT	Limited Test Ban Treaty	NW	Nuclear Weapon
MASTER	Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference	OCS	Offensive Counter Space
MDA	Missile Defense Agency	ORDEM	Orbital Debris Engineering Model
MEO	Medium Earth Orbit	OREX	Orbital Reentry Experiment
MHV	Miniature Homing Vehicle	ORFEO	Optical and Radar Federated Earth Observation
MiDAS	Missile Detection And Surveillance	OST	Outer Space Treaty
MIT	Massachusetts Institute of Technology	PAC	Patriot Advanced Capability
MPX	Micro-Satellite Propulsion Experiment	PAN	Panchromatisch
MS	Multispektral	PAROS	Prevention of an Arms Race in Outer Space
MTCR	Missile Technology Control Regime	PAVE PAWS	„PAVE“ ist ein Programmname für elektronische Systeme, „PAWS“ steht für Phased Array Warning System

PE	Perigäum	SWC	Space Warfare Center
PRK	Präventiven Rüstungskontrolle	TBB	Tri-Band Beacon
PRS	Public Regulated Service	TIP	Tiny Ionospheric Photometer, Seite 118
PTBT	Partial Test Ban Treaty	TIP	Transit Improvement Program
RMA	Revolution in Military Affairs	TIPS	Tether Physics Survivability Experiment
S2E	space-to-earth	TLD	Titan Launch Dispenser
S2S	space-to-space	TMD	Theater Missile Defense
SALT	Strategic Arms Limitation Talks	UAV	Unmanned aerial vehicle
SAPOS	Satellitenpositionierung(sdienst)	UCAV	Unmanned combat aerial vehicle
SAR	Synthetisches Apertur Radar	USA	United States of America
SBI	Space-Based Interceptor	USAFSPC	US Airforce Space Command
SBIRS	Space-Based Infrared System	VAFB	Vandenberg Air Force Base
SBL	Space-Based Laser	VBM	Vertrauensbildende Masnahmen
SBR	Space-Based Radar	VBMW	Vertrauensbildende Masnahmen im Weltraum
SBRAM	Satellite Breakup Risk-Assessment Model	VN	Vereinte Nationen
SDI	Strategic Defense Initiative	ZVBw	Zentrum für Verifikationsaufgaben der Bundeswehr
SFE	Space Force Enhancement		
SFU	Space Flyer Unit		
SIA	Satellite Industry Association		
SIPRI	Stockholm International Peace Research Institute		
SLDCOM	Satellite Launch Dispenser Communications		
SMP	Strategic Master Plan		
SOOS	Stacked Oscar on Scout		
SORT	Strategic Offensive Reductions Treaty		
SSA	Space Situation Awareness		
SSN	Space Surveillance Network		
SSTS	Space Surveillance and Tracking System		
STARS	Surveillance, Tracking and Attack Radar System		
START	Strategic Arms Reduction Talks		
STS	Space Transportation System		
STSS	Space Tracking and Surveillance System		

1 Einleitung

Bisher ist der erdnahe Weltraum frei von Waffen geblieben, die Ziele im All oder direkt auf der Erde bedrohen könnten. Zwar forschten im Kalten Krieges die Vereinigten Staaten und die frühere UdSSR an Weltraumwaffen (WRW), die politischen und technischen Kosten wurden jedoch als zu hoch eingeschätzt, womit ein unnötiges und destabilisierendes Wettrüsten im Weltraum vermieden werden konnte. Die Einführung von WRW wird darüber hinaus, basierend auf dem Weltraumvertrag, international als Tabu angesehen.¹ Dieses Tabu könnte bald fallen. Es gibt Stimmen, die eine „Bewaffnung des Weltraums“ mit dem Aufkommen der Atombewaffnung vergleichen.

Am 24. Mai 2005 meldete die New York Times, die US-Air Force habe dem Präsidenten eine Direktive zur Unterschrift vorgelegt, welche dem Militär weitere Schritte für eine „Kontrolle des Weltraums“ gestatten. In der Air Force Doktrin *Counterspace Operations* aus dem Jahr 2004 wurde festgeschrieben: „Space Superiority provides freedom to attack as well as freedom from attack“ [USA04]. Sowohl international wie auch in den USA mehren sich daher die Stimmen, die vor definitiven Schritten zu einer „Bewaffnung des Weltraums“ warnen. Nach Meinung von Kritikern stehe man kurz davor, „einen Rubikon“ zu überschreiten [DGKM04, S.50]. Gemeint ist damit die Befürchtung, dass raumfahrende Nationen, allen voran die Vereinigten Staaten, aktive Schritte einleiten könnten, um Waffen im Weltraum zu stationieren oder Waffen gegen künstliche Himmelskörper zu richten. Studien in den USA vergleichen feindliche Angriffe gegen Satelliten mit einem möglichen „Pearl Harbor im Weltraum“ und fordern aktive Schutzmaßnahmen. Die Logik mancher Befürworter lautet verkürzt: „Land, See und Luft sind Bestandteile der Kriegführung geworden“.² Da dies früher oder später auch für den Weltraum zu erwarten sei, müssen die USA gewappnet sein. Andere Staaten wie z.B. China oder Russland, die über den Zugang zum Weltraum verfügen, wären dann jedoch dann gezwungen, ähnliche Schritte einzuleiten. Ein WEU-Vertreter erklärte am 8. Dezember 2004 auf einer Konferenz: „Der Trend geht in Richtung einer Bewaffnung des Weltraums und die EU muss darauf vorbereitet sein.“³ Werden Konflikte nun auch in den Weltraum getragen? Kann präventive Rüstungskontrolle ein Wettrüsten im Weltraum verhindern? Welche Schritte könnten eine Bewaffnung des Weltraums verhindern?

Der erdnahe Raum wird heute umfassend für militärische Zwecke genutzt. Spionagesatelliten ermöglichen (sub-)metergenaue Einblicke in jedes Areal der Erde. Ohne weltraumgestützte Kommunikationssatelliten sind global agierende Streitkräfte nicht mehr zu führen. Das Navigationssystem GPS gestattet nicht nur die ortsgenaue Führung von Streitkräften, sondern auch den punktgenauen Waffeneinsatz von Präzisionsmunition. Die Verwendung von Satelliten hat

¹Einmal im Jahr wird von der überwältigenden Mehrheit der Völkergemeinschaft der PAROS-Resolution zugestimmt, die sich für eine Stärkung der Norm gegen die Stationierung von Weltraumwaffen im Weltraum ausspricht. 2004 stimmten dem 178 Staaten zu, lediglich Haiti, Israel, Palau und die USA enthielten sich. Siehe: UN Resolutions adopted by the General Assembly at its 59th session. <http://www.un.org/Depts/dhl/resguide/r59.htm> (August 2004)

²Siehe z.B. [SC01, S. 11]

³Paulo Brito, Repräsentant der WEU beim Runden Tisch der „New Defence Agenda“ im November 2004 in Brüssel, zitiert nach New Defence Agenda (6.12.04), Space and Security in Europe, Brussels, 6, http://www.forum-europe.com/publication/NDA_SOD_6December_2004.pdf, abgerufen am 7. Januar 2005.

die moderne Kriegsführung stark verändert. Insbesondere die sich in einer Phase der Umstrukturierung befindlichen US-Streitkräfte sind in zunehmendem Maß vom Weltraum abhängig. Aber auch die EU, China und Japan nutzen künstliche Himmelskörper verstärkt für militärische Zwecke.

Alle vorhandenen Himmelskörper haben heute lediglich passive Funktionen, d.h. sie sind nicht in der Lage, gezielt gegnerische Satelliten auszuschalten. Allerdings erprobten die USA in den 1980er Jahren luftgestützte Raketen zum Abschuss von Satelliten. Die UdSSR stationierte auf der Erde sogar ein operatives Anti-Satelliten-System (ASAT) und führte ca. 20 ASAT-Tests durch. Bis heute hat jedoch kein Staat aktive WRW stationiert. Die Magna Charta des Weltraums, der Weltraumvertrag von 1967, unterstreicht in seiner Präambel das „gemeinsame Interesse der gesamten Menschheit an der fortschreitenden Erforschung und Nutzung des Weltraums zu friedlichen Zwecken“ und erklärt sie zur „Sache der gesamten Menschheit“. Es dürfte auf dieser Grundlage ein zentrales Anliegen der Weltgemeinschaft sein, keine Weltraumbewaffnung zuzulassen, trotz des gegenteiligen Bestrebens mancher Staaten.

Der Bericht gibt in Kapitel 2 zunächst eine Einführung in die Vorgeschichte der Nutzung des Weltraums, stellt bereits entwickelte Weltraumwaffen vor und beleuchtet die gegenwärtige Situation der zivilen, kommerziellen und militärischen Nutzung des Weltraums. Daran anschließend wird in Kap. 3 auf die Debatte um eine mögliche Bewaffnung des Weltraums eingegangen und die militärische Strategieentwicklung und Bedrohungsdiskussion dargestellt. Neben der Doktrinentwicklung der USA wird auch auf Weltraumpläne anderer Akteure und deren Reaktionen auf die Pläne der US-Administration eingegangen. Kapitel 4 beschreibt die Weltrauminfrastruktur im Allgemeinen, deren Verwundbarkeit und nennt mögliche Waffenprinzipien im Weltraum. Die Wirkungsweise von kinetischen Weltraumwaffen (*Kinetic Energy Weapons (KEWs)*) und den Konsequenzen einer Stationierung von Weltraumwaffen bzw. deren Einsatz wird in Kap. 4.3 anhand der Problematik der Weltraumtrümmer beschrieben. Vertieft wird diese Untersuchung durch eigene Modellrechnungen über die Realisierbarkeit von kinetischen Anti-Satellitenwaffen mit einfachen technischen Mitteln in (Kap. 4.4). Die Modellrechnungen umfassen die Entwicklung eines Modells zur Beschreibung von Raketenbahnen und die Modellierung einer Nutzlast aus Metallkugeln zur Simulation einer erzeugten Trümmerwolke. Rechtliche Aspekte und Optionen für Rüstungskontrolle im Weltraum sind Gegenstand des Kapitels 5. Darin werden das derzeitige Weltraumrecht, rüstungskontrollpolitische Schwierigkeiten sowie Optionen für eine Verregelung bzw. den zukünftigen Umgang mit der Problematik der Weltraumwaffen vorgestellt. Der Bericht endet mit einer Zusammenfassung und Empfehlungen in Kap. 6.

2 Die Nutzung des Weltraums

2.1 Die Anfänge der Raumfahrt

Am 4.10.1957 wurde vom russischen Weltraumbahnhof Baikonur der erste künstliche Satellit, der Sputnik („Wegbegleiter“), ins All geschossen. In dieser Zeit des Kalten Krieges war Amerika nach dem Verlust des „Atomwaffenmonopols“ im Jahre 1949 ins technische Hintertreffen geraten und es begann ein Wettlauf um die Vorherrschaft im Weltraum. Durch den Sputnik wurde den USA zum einen ihre Verwundbarkeit durch das Vorhandensein leistungsfähiger Trägersysteme für ballistische Raketen seitens der Sowjetunion deutlich. Zum anderen betrachteten die Supermächte die Vorherrschaft im All auch als Indikator für die Vorherrschaft auf der Erde.

Aus den technischen Entwicklungen während des Wettlaufs im All entstand auch der Wunsch, ballistische Raketen oder Satelliten mit Raketen oder anderen Technologien an ihrer militärischen Einsatzfähigkeit zu hindern und dadurch die eigene Gefährdung zu verringern. Bereits Mitte der fünfziger Jahre begannen in der Sowjetunion erste Planungen zur Weltraumbewaffnung, welche sich 1968-82 in der Entwicklung und dem Testen eines Anti-Satellitensystems (ASAT-System) fortsetzte. Auch die USA arbeiteten seit 1957 an der Bestückung einer Mittelstreckenrakete mit Nuklearsprengköpfen für ASAT-Missionen. Von der Idee der nuklearbestückten ASAT-Systeme wandten sich die USA in den 80er Jahren ab und begannen mit der Entwicklung alternativer Methoden, die in den – damals nicht durchführbaren – Plänen zur Weltraumverteidigung SDI (*Strategic Defensive Initiative*) mündeten. US-Präsident Reagan präsentierte sie im Jahre 1983.

2.2 Existierende Weltraumwaffen und Waffen mit Aufprallfunktion

Bisher bereits entwickelt (und z.T. als nicht brauchbar verworfen) wurden erst wenige Weltraumwaffen. Im wesentlichen sind dies:

- Nukleare Raketenabwehrsysteme (Gorgon, frühere UdSSR und Safeguard/Sentinel, USA)
- Jagdsatellitensystem (Istrebitelny Sputnik, frühere UdSSR)
- Air Launched Miniatur Vehicle (ALMV, USA)
- ERIS⁴ / SBI⁵ ASAT bzw. darauf aufbauend ‚Brilliant Pebbles‘ bzw. GPALS⁶, USA

⁴*Exoatmospheric Reentry Vehicle Interceptor System*

⁵Space-Based Interceptor

⁶*Global Protection Against Limited Strikes*. Eine Aufrechterhaltung des mehrstufigen Konzeptes (*multilayered architecture*) des alten SDI-Programms, welche eine weltraumgestützte, eine bodengestützte lokale Raketenabwehr (*theater missile defense (TMD)*) und eine bodengestützte globale Raketenabwehr (*National Missile Defense (NMD)*) verbindet.

Mit der Entwicklung nuklearer Raketenabwehrsysteme (ABM-Systeme) wurde in den 60er Jahren begonnen. Sie sollen vor anfliegenden Interkontinentalraketen schützen, indem die anfliegenden Raketen durch inner- bzw. aueratomosphrische nukleare Hhenexplosionen zerstört werden. Das System ist prinzipiell auch in der Lage, Satelliten auf niedrigeren Umlaufbahnen zu zerstören bzw. zu schädigen. Das heutige Russland hat das Raketenabwehrsystem *Gorgon* zum Schutz seiner Hauptstadt Moskau stationiert. Die USA haben Ende der 60er Jahre kurzzeitig das ABM-System *Safeguard/Sentinel* betrieben [Neu01].

Das Jagdsatellitensystem *Istrebitelny Sputnik (IS)* wurde Mitte der 50er Jahre begonnen. Es handelt sich um ein koorbitales System, bei welchem ein Abfang-Satellit in den Orbit geschossen und an den Zielsatelliten herangeführt wird (siehe auch Abb. 2.1). In Zielnhe wird durch eine konventionelle Explosion eine „Schrapnellwolke“ erzeugt, die den Zielsatelliten zerstören soll. In der Zeit zwischen 1968 und 1982 wurden von der Sowjetunion 20 Tests durchgeführt, von denen ca. 70% als erfolgreich angesehen werden. Noch heute finden sich Trmmerreste dieser Tests im Orbit. Der Abfang-Satellit benötigt mindestens einen Erdumlauf, um an das Ziel

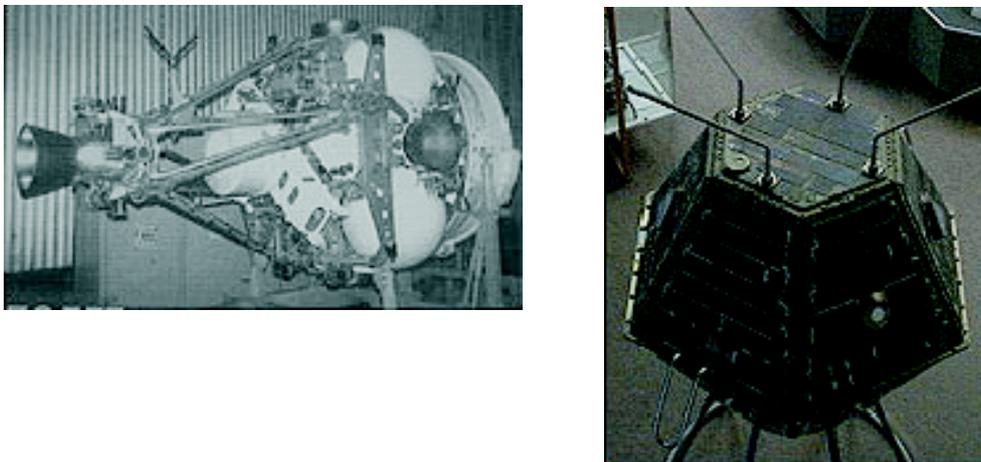


Abbildung 2.1: Das russische Jagdsatellitensystem *Istrebitelny Sputnik (IS)*. Die linke Abbildung zeigt eine frühe Version des IS-Systems, die rechte Abbildung zeigt eines der bei den Tests verwendeten Ziele, den gepanzerten DS-P1-M. Quelle: www.russianspaceweb.com/is.htm (Februar 2003).

herangeführt zu werden. Das System wurde 1973 in die sowjetischen Streitkräfte integriert, die USA gingen seit 1972 von der Existenz eines operativen Systems seitens der Sowjetunion mit einer Einsatzhöhe bis zu 5000km aus. Die Sowjetunion gab 1983 ein einseitiges Moratorium des ASAT-Programms bekannt. Die Frage nach der Operationalität des Systems blieb offen, die Amerikaner bewerteten den Systemzustand 1989 noch als im „*state of constant readiness*“.

In den 80er Jahren begannen die USA mit der Entwicklung des *Air-Launched Miniature Vehicles (ALMV)*. Das System basierte auf einer mit einem *Miniature Homing Vehicle (MHV)* bestückten Luft-Weltraum-Rakete, welche mit einem F-15 Kampfflugzeug in die Nähe des Zielsatelliten gebracht wurde (vgl. Abb. 2.2). Nach der Zündung der Rakete sollte das MHV mit Hilfe von hitzesuchenden Sensoren das Ziel ansteuern und durch Kollision zerstören. Das ALMV-System wurde am 13. September 1985 erfolgreich getestet. Der Zielsatellit, bekannt unter dem Namen „P-78“ und „Solwind“, befand sich in einer Höhe von 525km und zerbrach in 285 katalogisierte Fragmente⁷ [KAM01]. Das Programm wurde 1987 aufgrund zu hoher Kosten, techni-

⁷Messungen über Objekte im Weltraum erfolgen z.B. im Rahmen der Studien zu Weltraumtrümmern, vgl. Kap. 4.3

scher Mängel sowie angesichts möglicher Alternativen des damals angestrebten SDI-Programms eingestellt.

Abbildung 2.2: Das amerikanische „F15-ASAT“-System (ALMV).
Quelle: www.fas.org/spp/military/program/asat/almv.htm (Februar 2003).



Die Projekte *Space-Based Interceptor (SBI)/Exoatmospheric Reentry Vehicle Interceptor System (ERIS)* entstanden im Rahmen der Pläne zur *Strategic Defense Initiative (SDI)*. Beim SBI handelte es sich um mit Raketen bestückte Satelliten, welche gegnerische Raketen in der Start- und Nachstartphase (*Boost- und Post-Boost Phase*) bekämpfen sollten. Jeder Satellit sollte mit etwa zehn raketentriebenen *Kinetic Kill Vehicles* bestückt werden. Beim ERIS-Projekt sollten eigenständig zielsuchende Abfangraketen vom Erdboden aus gestartet werden, um Objekte außerhalb der Atmosphäre abzufangen (*midcourse/late midcourse intercept*). Der eigentliche Abfang sollte kinetisch erfolgen (Kollision).

Ein *Exoatmospheric Kill Vehicle (EKV)* ist auch Kernstück der derzeitigen Raketenabwehrpläne der Bush-Administration. Es ist Teil des *Ground-based Midcourse Defense Systems*, das Test-Operationsgebiet liegt bei einer Höhe von 130–150 km.

2.3 Die Gegenwart der Raumfahrt

Der Weltraum hat sich seit den Anfängen der Raumfahrt zu einem wichtigen Faktor sowohl für die Wirtschaft im Allgemeinen als auch für zivile und militärische Anwendungsfelder entwickelt. Für Militär und Sicherheitspolitik, allen voran die global agierenden US-Streitkräfte, ist die Nutzung des Weltraums heute unverzichtbar. Ein unabhängiger Zugang zum Weltraum durch Trägerraketen und Startgelände, globale Infrastrukturen wie Bodenstationen sowie Forschung und Entwicklung im Bereich Raumfahrt sind dabei notwendige Voraussetzungen für zivile und militärische Raumfahrt.

Anwendungsfelder wie Kommunikation, Navigation, Erdbeobachtung/Fernerkundung (z.B. Meteorologie, Geodäsie, Aufklärung), Wissenschaft (Astronomie, multispektrale Fernerkundung) und andere militärische Anwendungen (z.B. Frühwarnung oder elektronische Aufklärung) haben Märkte in den Bereichen z.B. der Satellitendienste, des Satellitenbaus, der Trägersysteme und der Herstellung von Bodenkomponenten geschaffen. Zu den beiden klassischen Raumfahrt treibenden Nationen USA und Russland sind weitere Akteure hinzugekommen. Zum Teil haben diese eigenständige Raumfahrtkapazitäten aufgebaut, zum Teil nutzen sie den Weltraum durch Kooperationen oder als Endabnehmer. Neben der Europäischen Union (über ihre *European Space Agency (ESA)*) vermögen auch China⁸, Indien, Israel, Japan, die

⁸Als dritter Nation gelang China am 15. Oktober 2003 der Start eines bemannten Raumfahrzeugs. Der „Taikonaut“ Yang Liwei kehrte erfolgreich zurück, nachdem er die Erde während eines 21-stündigen Fluges 14 Mal umrundete.

Ukraine und Brasilien Nutzlasten in den Weltraum zu transportieren. Nordkorea, Iran und Pakistan bereiten Schritte vor, um Satelliten in den Orbit zu schießen. 28 Staaten verfügen über die Möglichkeit „sub-orbitaler Startkapazitäten“. 45 Staaten haben mittels eigener oder fremder Trägermittel, die Möglichkeit genutzt, Nutzlasten in den Weltraum zu transportieren. [CCE⁺05, S.XI und 109]

Auch im globalen politischen Kontext findet der Weltraum bzw. die Weltrauminfrastruktur zunehmend Berücksichtigung. Dies betrifft sowohl die Rolle und den Wert von Satelliten bei Militäroperationen (siehe Kap. 3.1ff) als auch Fragen von Klima- und Umweltschutz, Nachhaltigkeit oder Sicherheit. Auf europäischer Ebene finden sich dazu verschiedene Resolutionen, Programme und Strategiepapiere, so z.B. die Annahme einer Resolution, welche die Unterstützung von Regierungen für einen unabhängigen Zugang Europas zum Weltraum vorsieht (EGAS Programm), das „Green Paper“ [EU03c] und das „White Paper“ [EU03d] und die z.T. in diesen genannten Vorhaben *Global Monitoring for Environment and Security (GMES)*, das europäische Satellitennavigationssystem Galileo, das Netzwerk *Global Monitoring for Security and Stability (GMOSS)* oder das Vorhaben eines Satellitennetzwerkes „COSMO-Skymed“ [Rum03].⁹

2.3.1 Die Märkte der Raumfahrt

Die steigende Bedeutung der Weltraumnutzung zeigt die Marktentwicklung der Raumfahrtindustrien. Der Wert des Raumfahrtsektors wurde in einer Analyse der ESA für das Jahr 2003 auf etwa €144 Mrd. geschätzt. Dieser setzt sich zusammen aus den Etats von Regierungsorganisationen und Raumfahrtorganisationen für zivile und militärische Weltraumprogramme in Höhe von etwa €43,5 Mrd. sowie Erlösen aus kommerziellen Satellitendiensten in Höhe von ca. €100 Mrd. [Bat04]. Beim institutionellen Anteil überwiegt der Beitrag der zivilen Anwendungen (58%) den der militärischen Anwendungen (42%). Der Anteil aus kommerziellen Diensten beinhaltet u.a. sogenannte *value-added-services* in Höhe von €47,7 Mrd. Dieses verteilt sich im wesentlichen auf die drei Bereiche Telekommunikation, Navigation und Erdbeobachtung. Tabelle 2.1 zeigt eine Übersicht.

institutionell (öffentlich) € 43,5 Mrd.		kommerziell ca. € 100 Mrd.	
zivil € 25,2	mil. € 18,3	einschl.	
davon u.a.		<i>value added services</i> :	€ 47,4 Mrd.
US: € 15,9 Mrd.	US: € 17,4 Mrd.	mit Telekommunikation:	€ 37,9 Mrd.
EU: € 5,3 Mrd.	EU: € 0,65 Mrd.	Navigation:	€ 7,3 Mrd.
Japan: € 2,4 Mrd.		Erdbeobachtung:	€ 3,2 Mrd.
RUS: € 0,28 Mrd.			

Tabelle 2.1: Ausgaben bzw. Erlöse im Weltraumsektor in 2003. Die Tabelle zeigt die Anteile der Erlöse aus institutionellen und kommerziellen (Geld-)Quellen. Die Angaben stammen aus [Bat04].

⁹Einzelheiten zur europäischen und amerikanischen Weltraumstrategie finden sich z.B. in [Koh04], näheres zu GMES und Galileo findet sich in [Gio04, Had04]. Einige dieser Programme sind sowohl militärisch wie zivil betrieben. Prinzipiell sind diese Programme teilweise von strategischer Bedeutung und mögliches Ziel bei einer Bewaffnung des Weltraums.

Die USA sind nach diesen Erhebungen der bei weitem größte Raumfahrtakteur; auf sie fallen häufig deutlich mehr als die Hälfte der weltweiten Ausgaben und Erlöse. Der US-Anteil an den weltweiten institutionellen Aufwendungen für den zivilen Bereich beträgt etwa 64%, bei den Militärbudgets sind es etwa 95% (vgl. Tab. 2.1). Dies gilt z.T. auch für den kommerziellen Sektor. Nach der *Satellite Industry Association (SIA)* sind die Erlöse der Satellitenindustrie seit dem Jahr 1996 mit Erlösen von US\$ 38,0 Mrd. stetig gestiegen, wobei Teilbereiche der Satellitenindustrie auch Rückgänge oder Stagnation zu verzeichnen haben (vgl. Abb. 2.3) [SIA04].

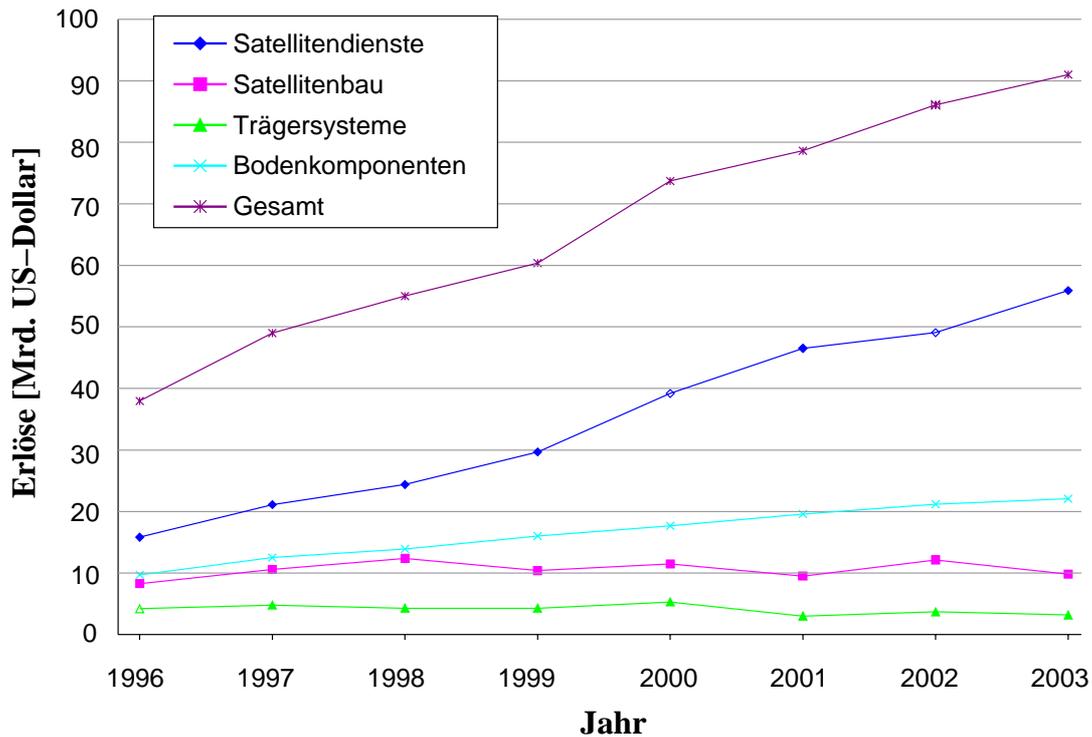


Abbildung 2.3: Weltweite Erlöse in der Satellitenindustrie. Zahlenangaben stammen aus [SIA04].

Im Jahr 2003 betragen nach Angaben der SIA die weltweiten Erlöse der Satellitenindustrie US\$ 91,0 Mrd. ($\approx \text{€}97,7 \text{ Mrd.}^{10}$). Diese verteilen sich im Jahr 2003 auf vier Bereiche wie folgt: Satellitendienste (*satellite services*): US\$ 55,9 Mrd.; Satellitenbau (*satellite manufacturing*): US\$ 9,8 Mrd.; Trägersysteme (*launch industry*): US\$ 3,2 Mrd. sowie Herstellung von Bodenkomponenten (*ground equipment manufacturing*): US\$ 22,1 Mrd. Der relative Anteil der USA an diesen Erlösen liegt bei etwa 45%, in den Teilbereichen Satellitenbau und Trägersysteme liegen die US-Anteile bei US\$ 4,6 Mrd. (46,9%) bzw. US\$ 2,1 Mrd. (65,6%). [SIA04].

Europa hat sich mit Blick auf die Ausgaben im zivilen Bereich zum zweitgrößten Raumfahrtakteur entwickelt, gefolgt von Japan und Russland. China und Indien sind aufstrebende Nationen im Bereich der Raumfahrt, haben aber noch nicht zu den stärksten Akteuren aufgeschlossen.

Eine Einschätzung bzw. Bewertung Russlands als Raumfahrtakteur nur anhand der genannten Zahlen wird der Stellung Russlands nicht gerecht. Trotz immenser Streichungen im nationalen Weltraumbudget sind die Aktivitäten in den Weltraumprogrammen nie vollends

¹⁰In [Bat04] sind einige Zahlen ergänzend mit einer Umrechnung in US-Dollar versehen. Diesen liegt eine Umrechnung von US\$1 \approx €1,07 zugrunde, welche auch hier verwendet wurde.

eingestellt worden; gleiches gilt für die Wartung bzw. Instandhaltung von Systemen im Orbit. Sie wurden ggf. mit kleinstem Aufwand weitergeführt. Russland verfügt weiterhin über eine große Zahl von Satelliten und nutzt den Weltraum, wie die Anzahl von Starts in den vergangenen Jahren belegen (siehe Abb. 2.4). Dies beruht auf den Erfahrungen aus den Zeiten der bipolaren Konkurrenz mit den USA.

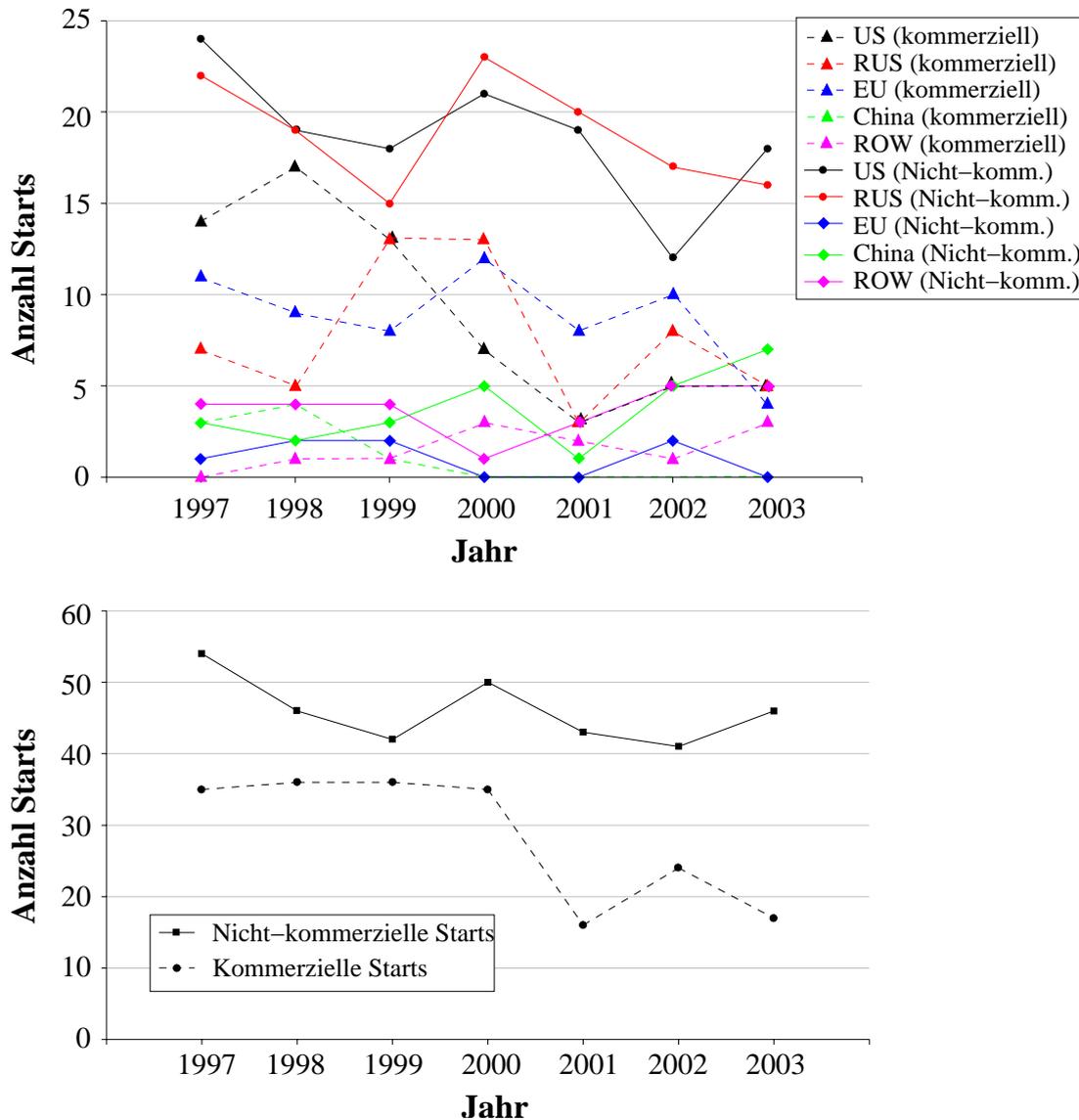


Abbildung 2.4: Anzahl von Satellitenstarts verschiedener Akteure. Die obere Abbildung zeigt die Zahl von kommerziellen und nicht-kommerziellen Starts einzelner Raumfahrtakteure. Die untere Abbildung zeigt die Gesamtzahl weltweiter Starts im kommerziellen und nicht-kommerziellen Bereich. Diagramme erstellt anhand von [FAA98, FAA99, FAA00, FAA01, FAA02, FAA03].

2.3.2 Die zivile und kommerzielle Nutzung des Weltraums

Die zivile und kommerzielle Nutzung des Weltraums umfasst Sektoren wie Wissenschaft, Telekommunikation, Navigation, Erdbeobachtung, Trägersysteme und die bemannte Raumfahrt. Insbesondere die Sektoren Telekommunikation und Navigation werden kommerziell stark genutzt, wie der Anteil dieser Teilbereiche an den Erlösen zeigt (38% bzw. 7% Anteil an den kommerziellen Erlösen; 80% bzw. 15% der *value added services*, vgl. Kap 2.3.1).

Kommerzielle Satelliten stellen eine weltraumgestützte Infrastruktur dar, welche im Rahmen ihrer Bodenüberdeckung die Ausdehnung bzw. Vervollständigung irdischer Netzwerke durch Informationsbereitstellung und -austausch ermöglicht. Heutige Telekommunikationssatelliten sind ein wesentlicher Bestandteil der Rundfunkindustrie, in Deutschland werden beispielsweise ca. 40% der Fernseh-Haushalte durch Satellitentechnik versorgt [Ger04].

GPS-Navigationsatelliten finden zunehmend Anwendung bei Verkehr, Rettung und Kartenerstellung. So bietet z.B. der Satellitenpositionierungsdienst SAPOS der deutschen Landesvermessung verschiedene Dienste (Raumbezüge) im europaweit einheitlichen Bezugssystem ETRS89 an¹¹. Für Anwendungen wie Vermessungen und Katasterwesen, Leitungsdokumentation, Verkehrswesen (Fahrzeugnavigation und Flottenmanagement, Seeschifffahrt-Leitsysteme) u.v.m. werden Daten mit einer Positionierungsgenauigkeit bis in den Millimeterbereich¹² angeboten.[AdV04]

Fernerkundungs- und Erdbeobachtungssatelliten finden neben meteorologischen und wissenschaftlichen Anwendungen zunehmend Berücksichtigung bei Stadtplanung, Feuerbekämpfung und -vorsorge oder im Umweltbereich [BOW01]. Zurückzuführen ist dieser Umstand nicht zuletzt auf die zunehmende Verfügbarkeit von hochauflösenden kommerziellen Satellitenbildern. Tabelle A.2 gibt eine exemplarische Übersicht über den Status vorhandener und geplanter Satelliten.

Heutzutage sind Satellitenbilder mit Pixelauflösungen (*Ground Sample Distance (GSD)*) bis zu 0,6m/2,4m (panchromatisch/multispektral) kommerziell erhältlich. Solche Bilder werden z.B. durch die amerikanischen Firmen Digitalglobe¹³ oder Spaceimaging Inc.¹⁴ angeboten. Abbildung 2.5 zeigt ein Beispiel für kommerziell verfügbare Satellitenbilder.

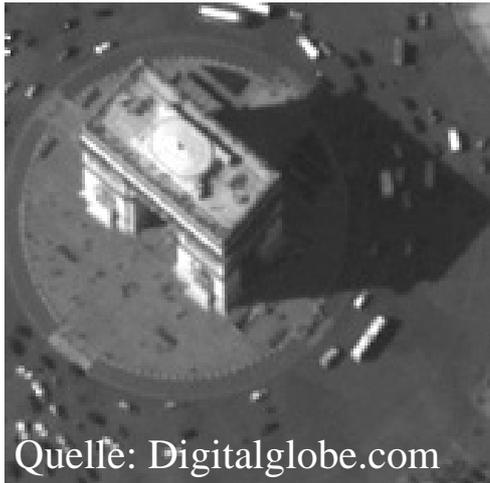
Die Verfügbarkeit von kommerziellen (US-)Satellitenbildern kann (bzw. ist) aus Sicherheitsinteressen seitens der USA oder anderer Staaten eingeschränkt werden. So dürfen nach dem „*Kyl-Bingaman Amendment to the National Defense Authorization Act of 1997*“ seitens amerikanischer Firmen keine Bilder von Israel gesammelt oder veröffentlicht werden, welche eine Auflösung „*more detailed or precise than satellite imagery of Israel that is available from commercial sources*“ [NDA96, Section 1064 (a,b)] aufweisen. Zu interpretieren ist dies als weltweit und routinemäßig zugängliches Bildmaterial und bedeutet zur Zeit, dass z.B. Spaceimaging Inc. seine über Israel gewonnen Bilddaten von 1m auf 2m zu verschlechtern hat. Zudem bietet eine präsidentiale Direktive aus dem Jahr 1994, häufig als so genannte „*shutter control*“ bezeichnet, die Möglichkeit der Zugriffsbeschränkung auf Satellitenbilder [DoC94, section B, part 19], zitiert nach [Nar02, S.35].

¹¹Z.B. finden zur Zeit in Hamburg GPS-basierte Messungen des Vermessungsamtes statt, welche der Realisierung des amtlichen Bezugssystems ETRS89 dienen. Die Messungen werden voraussichtlich bis Ende 2005 abgeschlossen sein [private Mitteilung eines Mitarbeiters des Landesvermessungsamtes].

¹²Eine Genauigkeit in der genannten Größenordnung kann nicht durch die GPS-Signale alleine erzielt werden, sondern bedarf zusätzlicher Signalstationen auf dem Erdboden (sog. *Differential GPS*). Das Gemeinschaftsprojekt SAPOS der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) unterhält ein bundesweit flächendeckendes Netz von mehr als 250 Referenzstationen. Die Daten werden mit abgestufter Exaktheit in den Service-Bereichen „Echtzeit-Positionierungs-Service“ (SAPOS EPS; Echtzeit-Positionierung mit 0,5m bis 3m Genauigkeit), „Hochpräziser Echtzeit-Positionierungs-Service“ (SAPOS HEPS; Echtzeit-Positionierung mit 1cm bis 2cm Genauigkeit), „Geodätischer Präziser Positionierungs-Service“ (SAPOS GPPS; Genauigkeiten unter 1 Zentimeter; Datenprozessierung nötig) und „Geodätischer Hochpräziser Positionierungs-Service“ (SAPOS GHPS; Genauigkeiten unter 1cm; Datenprozessierung nötig) zur Verfügung gestellt.[AdV04]

¹³www.digitalglobe.com, Satellit „Quickbird-2“, Ball Aerospace; Pixelgröße 0,61m panchrom. und 2,44m multispektral (4 Bänder: „Blau“, „Grün“, „Rot“ u. „Nahes Infrarot“), erfolgreich gestartet am 18. Okt. 2001.

¹⁴www.spaceimaging.com, Satellit Ikonos-2; Pixelgröße 1m panchrom. und 4m multispektral (4 Bänder: „Blau“, „Grün“, „Rot“ u. „Nahes Infrarot“; die genauen spektralen Empfindlichkeiten finden sich auf der Homepage des Betreibers), erfolgreich gestartet am 24. Sept. 1999.



Quelle: Digitalglobe.com

Arc de Triomphe, Paris, Frankreich,
27.03.2002



Quelle: Digitalglobe.com

Hamburger Hafen, Deutschland,
10.05.2002

Abbildung 2.5: Beispielszenen kommerziell verfügbarer Satellitenbilder (US Satellit). Die Abbildung links zeigt einen Bildausschnitt eines Satellitenbildes (Satellit „Quickbird-2“) vom Arc de Triomphe in Paris/Frankreich, aufgenommen am 27. März 2002 (panchrom., 61cm) [www.digitalglobe.com/images/qb/paris_champs_elysees_IOD041002.jpg (Juni 2003)]. Die rechte Abbildung zeigt ein Farbbild (RGB) des Hamburger Hafens in Deutschland, ebenfalls aufgenommen vom US Satelliten „Quickbird-2“ (Bildausschnitt von [www.digitalglobe.com/images/qb/hamburg_port_col051002_dg.jpg] (Juni 2003))).

Kommerziell erhältliches Bildmaterial seitens nicht-amerikanischer Betreiber beginnt bei einem Auflösungsvermögen von etwa 2m, so z.B. von ImageSat International N.V., Niederländische Antillen¹⁵ oder Spot Image¹⁶, einer „Firmengruppe“¹⁷ mit Hauptsitz in Toulouse, Frankreich.

Bilddaten im Spektralbereich des Thermischen Infrarot werden zumeist zu regionalen oder globalen Analysen genutzt. Sie haben gegenüber den o.g. Satellitendaten ein größeres Auflösungsvermögen im Bereich von einigen zehn Metern bis hin zu Kilometern und werden zur Gewinnung von Daten im Bereich typischer Temperaturen der Erdoberfläche genutzt.¹⁸

Für die kommenden Jahre ist mit einer geringfügigen Erhöhung des Auflösungsvermögens von kommerziell erhältlichen Satellitenbildern zu rechnen. Spaceimaging Inc. plant für Ende 2005 den Start eines Systems der nächsten Generation¹⁹, welches, basierend auf einer Lizenz

¹⁵www.imagesatintl.com, Satellit „EROS A“ ; GSD 1,8m panchrom., erfolgreich gestartet am 5. Dez. 2000.

¹⁶www.spotimage.fr, u.a. Satellit „Spot-5“ ; Auflösung 2,5m (aus der Kombination zweier 5m Bilder) und 10m bzw. 20m multispektral, erfolgreich gestartet am 3. Mai 2002.

¹⁷Die Haupt-Anteilseigner von Spot Image sind CNES (41%), die EADS-Gruppe (40%) einschließlich des „prime contractors“ für den Spot Satelliten ASTRION (36%), die Alcatel Gruppe (7%) und das Nationale Geographische Institut Frankreichs (IGN, 3%). Anteile werden auch von Regierungen und privaten Unternehmen in Belgien, Schweden und Italien (8%) gehalten [Gruppenbeschreibung Spot Image, <http://www.spotimage.fr/home/present/who/welcome.htm> (02.07.03)].

¹⁸Z.B. Daten des Satelliten „Landsat 7“. Dieser ist im Spektralband 6 gegenüber einem Wellenlängenbereich von 10,4 μ m bis 12,5 μ m empfindlich (nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz entsprechen die Bandgrenzen Temperaturen von etwa 70°C bzw. -70°C) und hat eine GSD von 60m (nur im Band 6). Angaben zum Landsat-Projekt und zum Satelliten finden sich unter <http://landsat7.usgs.gov/index.php> sowie <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>. Die Gerüchte um einen vollständigen Systemausfall aufgrund des Ausfalls des *scan line corrector* (SLC) sind nach Angaben der NASA falsch [<http://landsat.gsfc.nasa.gov/main/17-slc.html> (18.03.2004)].

¹⁹Spaceimaging Inc., Newsroom, www.spaceimaging.com/newsroom/corporate_fact_sheet.htm (Juni 2003).

der US-Regierung, eine GSD von 0,5m (panchromatisch) aufweisen können soll²⁰. Möglich ist zudem die Auslegung der Sensoren dahingehend, dass diese weitere Spektralbänder umfassen. Hierfür spricht die von der US-Regierung angestrebte stärkere Einbindung kommerzieller weltraumgestützter Fernerkundungssysteme als Unterstützung und – wenn möglich – als Ersatz staatlicher Fähigkeiten²¹ [WH03]. Digitalglobe Inc. plant im November 2005 ein weiteres Produkt auf den Markt zu bringen. Der Satellit „Worldview“ soll etwa eine GSD von 0,5m (panchrom.) bzw. 2,0m (multispektral) aufweisen und im Vergleich zum bisherigen Satelliten „Quickbird“ vier weitere Spektralbänder besitzen. Von ihrer Auflösung her würden sich bereits heute kommerziell verfügbare Satellitenbilder²² als Hilfsmittel für Verifikationsaufgaben eignen [SFK⁺01]. Bei den Radarsensoren liegt die typische Bodenauflösung z.Zt. im Bereich einiger zehn Meter, es wird auf höhere Bodenauflösungen hingearbeitet.²³

2.3.3 Die militärische Nutzung des Weltraums

Die militärische Nutzung des Weltraums ist vielfältig, umfasst bis heute jedoch keine im Weltraum stationierten Waffen. Anwendungsfelder sind u.a. die Erdbeobachtung (z.B. Aufklärung, Kartenerstellung), Navigation (auch Waffenführung), (sichere) Kommunikation²⁴, Meteorologie, Frühwarnung oder Bereiche der Technologieentwicklung. Tabelle 2.2 zeigt exemplarisch Benennungen von US-Militärsatelliten verschiedener Anwendungsfelder.

Es umkreisen etwa 200 militärische Satelliten in verschiedenen Umlaufbahnen die Erde (vgl. Tab. 2.3) und es ist davon auszugehen, dass ihre Anzahl noch zunehmen wird. Dies betrifft zum einen die Zahl rein militärisch genutzter Satelliten, zum anderen die Zahl an auch militärisch genutzten Satelliten anderen Ursprungs. Die USA und Russland sind nach über fünfzig jähriger Rüstungskonkurrenz im All militärisch seit langem führend.

²⁰Jeder dem Einflussbereich der amerikanischen Gesetzgebung unterliegende Betreiber eines privaten Fernerkundungssystems im Weltraum bedarf einer Lizenz der National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA). Derzeitige Grenzwerte im Auflösungsvermögen sind: 0,5m Ground Sample Distance (GSD) für panchromatische Systeme, 2m GSD für Multispektralsysteme, 3m *Impulse Response (IPR)* für Synthetisches Apertur Radar (SAR) und 20m GSD für Hyperspektralsysteme (einschließlich bestimmter 8m „*hyperspectral derived products*“ zum kommerziellen Vertrieb) [www.licensing.noaa.gov/faq.htm (Juni 2003)]. Spaceimaging Inc. hat im November 2002 nach einer Lizenz für eine GSD von 0,25m angefragt [www.spaceimaging.com/newsroom/2003_new_policy.htm (Juli 2003)].

²¹Bereits heute profitiert auch das Militär von der zivilen Raumfahrtindustrie. Das amerikanische Pentagon macht regen Gebrauch von satellitengestützten Telekommunikationsdiensten und Satellitenbilddiensten. Der Bedarf an kommerziellen Telekommunikationsdiensten seitens des US-Militärs wächst zunehmend und macht die Entwicklung neuer Träger notwendig.

²²Eine ausgewählte Übersicht zum Status aktueller und künftiger Satelliten findet sich in Tab. A.2 im Anhang.

²³Bei z.B. Radarsat, Canadian Space Agency, liegt die räumliche Auflösung bei 8m oder größer [vgl. <http://www.crisp.nus.edu.sg/rsat/rsat.html> (Juni 2003)], bei ERS-1/2, Europäische Weltraumagentur (ESA) oder JERS-1, National Space Development Agency of Japan (NASDA) bei 30m bzw. 18m [vgl. <http://www.sbg.ac.at/geo/student/fernerkundung/sat.htm> (Juni 2003)], und es wird auf eine Bodenauflösung von 1m hingearbeitet (TerraSAR-X, Start Mitte 2005, Einzelheiten z.B. unter <http://www.spaceclub.de/enid/es.html> (23.06.03)).

²⁴Im Bereich Telekommunikation greift das US-Militär im Bedarfsfall ebenfalls auch auf kommerzielle Satelliten zurück. Dadurch konnten Aufklärungsbilder von US-Drohnen (*UAVs*) aus dem Kosovo öffentlich empfangen werden, welche anscheinend aufgrund nicht ausreichender militärischer Kommunikationskapazitäten während des Krieges in Afghanistan 2001 über einen kommerziellen Fernsehsatelliten weitergeleitet wurden [Röt02].

	Name	Serie	Bezeichnung(en)	Startjahr	Bemerkungen
Meteorologie	DMSP-1 bis DMSP-8	Block 5B/C		1971 - 1976	Block 5C ab DMSP-3
	DMSP F-1 bis DMSP F-5	Block 5D-1	AMS-1 bis AMS-5	1976 - 1980	
	DMSP F-6 bis DMSP F-14	Block 5D-2	WS-1A	1982 - 1997	
	DMSP F-15 und folgend	Block 5D-3	WS-1B WS-2A	1999 -	DMSP F-16 (auch USA-172) am 18.10.2003 gestartet. Programm gestrichen.
Kommunikation	IDSCS-1 bis IDSCS-26	IDSCS		1966 - 1988	
	DSCS-II-1 bis DSCS-II-16	ES-4 / ES-4A		1971 - 1989	
	DSCS-III-1 ff. Milstar 1-1 u. Milstar 1-2	ES-5 / ES-5A ES-8A	auch DSF-1 u. DSF-2	1982 - 1994, 1995	DCSC-III-14 (auch USA-170) am 29.8.03 gestartet auch USA-99 bzw. USA-115. DSF-1 trug möglicherweise auch Technik-Experimente als Teil des "Brilliant Pebbles"-Programms. Milstar 2-4 (auch USA-169) am 08.04.03 gestartet.
	Milstar 2-1 bis Milstar 2-4	ES-8A		1999 -	
Navigation	Transit 1A bis Transit 5	Transit 1A bis Transit 5		1959 - 1964	Experimentell
	NNSS-30010, NNSS-30020, NNSS-30030 bis NNSS-30320		auch "Oscar" oder "Transit-O" oder einige auch "Stacked Oscar on Scout (SOOS)"	1964 - 1988	NNSS-30220 wurde bei Bodentests 1992 zur Untersuchung von Schäden durch Aluminiumprojekte auf die Satellitenstruktur verwendet. NNSS 30210, 30260 u. 30280 wurden an die Naval Post Graduate School und an das Applied Research Laboratory, Universität Texas, Austin gegeben. Einer dieser Satelliten wurde bei "impact tests like spacecraft #22 (NNSS30220)" zerstört. Testgeräte für GPS
	Timation-1 bis -3 u. NTS-2, NTS-3 TIP-1 bis TIP-3	Timation / NTS		1967 - 1989	Vorläufer "Nova"
	Nova-1, Nova-2 u. Nova-3		auch "Triad" auch NNSS 30480, NNSS 30490 u. NNSS 20450	1972 - 1976 1981, 1988, 1984	
	Navstar-1 bis Navstar-11	NS-7A	Navstar GPS I	1978 - 1985	Auch NDS
	Navstar 2-1 bis Navstar 2-9	NS-7B	GPS II	1989 - 1990	
	Navstar 2A-1 bis Navstar 2A-19	NS-7C	GPS IIA	1990 - 1997	
	Navstar 2R-1 ff.	NS-7D	GPS IIR	1997 -	Navstar 2R-10 (auch USA-175) am 21.12.2003 gestartet. Navstar 2R-11 (auch USA 177) am 20.03.2004 gestartet. Navstar 2R-12 (auch USA 178) am 23.06.2004 gestartet. Modulares System, um zukünftigen Ansprüchen genügen zu können. Vorgänger waren MiDAS/Improved MiDAS
	IMEWS-1 bis IMEWS-9	NS-7E LS-3A	GPS IIF auch DSP	1970 - 1981	
	IMEWS-10 ff.	LS-3B	auch DSPI	1981 -	IMEWS-21 (auch USA-159) am 6.8.2001 gestartet, DSP(I)-22 (auch USA-176) am 14.2.2002 gestartet. Mitte 90er geplant, Programm gestrichen.
SSTS	LS-6A LS-9A	auch BSTS	Mitte 90er	Programm gestrichen.	

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite (Seite 13)

Bis Ende 2003 haben sie mehr als 2000 militärische Satelliten²⁵ in das All geschossen, während alle übrigen Staaten 30 bis 40 militärische Satelliten in eine Umlaufbahn befördert haben. Auf

Typ	Quelle		
	Aviation Week and Space Technology	Secretary of Defense 2001 Annual Report	SIPRI Yearbook 2002 US / ROW
Kommunikation	20	14 ^a	35 / 45
Navigation	32	28	30 / 29
Frühwarnung/Erdbeobachtung	4	<i>Classified</i>	6 / 6
Aufklärung & Überwachung	5	-	8 ^c / 13 ^c 11 ^d / 2 ^d 7 ^e / 8 ^e
Wissenschaft/Techologieentwicklung	9	-	8 / -
Wetter	3	5 ^b	11 / -
Bemannt	1	-	-

Tabelle 2.3: Anzahl von US Militärsatelliten. Die Zahlen nach dem SIPRI Yearbook geben zusätzlich zur Anzahl der Militärsatelliten der USA auch die Zahlen für die übrige Welt (‘Rest Of World’ (ROW)) an. Die Angaben unter Aviation Week sind zitiert nach [Smi01], die übrigen entstammen [Coh01, S. 131] bzw. [Pik02].

^a: beinhaltet lediglich Zahlen des *Department of the Airforce*.

^b: im Report unter den Fähigkeiten „Umwelt“ (*environmental*) geführt.

^c: Elektronische Aufklärung (*electronic intelligence*)

^d: Elektronische Ozeanüberwachung (*electronic ocean surveillance*)

^e: Bildaufklärung (*imaging intelligence*), 3 davon kommerziell

Weltraumkomponenten wurde während der vergangenen 10 bis 20 Jahre in zunehmendem Maße bei der Vorbereitung von Militäreinsätzen und auch bei aktiven Kampfhandlungen zurückgegriffen²⁶. Beispielsweise bescheinigt ein Bericht zur „*Operation Allied Force*“ im Kosovo der Weltraumkomponente eine wichtige Rolle bei der Effektivitätssteigerung der Luftwaffe durch verbesserte Wettervorhersagen²⁷. Ein im darauffolgenden Jahr 2001 erschienener Bericht des

²⁵Bildgebende Militärsatelliten bieten im Vergleich zum kommerziell erhältlichen Bildmaterial eine höhere räumliche Auflösung. Bereits die in den 60er Jahren genutzten Satelliten der Corona- und nachfolgenden Programme (siehe z.B. [DLL98, Tau03]) lieferten Auflösungen im Meterbereich. Mittlerweile freie Informationen zu historischen militärischen Programmen geben z.B. Bodenaufösungen von etwa 0,6m für den Satelliten KH-7 im Jahr 1966 an. Angaben zu den freigegebenen Informationen finden sich z.B. unter http://www.nima.mil/cda/article/0,2311,3104_11762_114878,00.html#7 (Juni 2003). Angaben zu aktuellen militärischen Satelliten finden sich öffentlich zugänglich nur zu den generellen Charakteristika (Missionsziel, Gewicht, evtl. Startdatum oder grobe Sensorbezeichnung etc.). Es ist anzunehmen, dass militärische Satellitenbilder (sichtbarer Spektralbereich) in der Bodenauflösung die Grenze der physikalischen Randbedingungen erreichen. Die Auflösung ist durch atmosphärische Turbulenzen, Linsenfehler, Beugungseffekte etc. begrenzt und dürfte in etwa um die 0,1m liegen. Infrarotsensoren werden häufig im Zusammenhang mit der satellitengestützten Raketenfrühwarnung (*Early warning*) genannt (siehe z.B. http://www.af.mil/news/factsheets/Defense_Support_Program_Satel.html (Juni 2003)). Die Bodenauflösung liegt bestenfalls bei „einigen Zehn Metern“, dürfte in der Praxis eher gröber sein. Bei Radarsatelliten ist in Anbetracht des für 2005 angesetzten TerraSAR-X (siehe Fußnote 23) davon auszugehen, dass die Bodenauflösung militärischer Satelliten im Meter- bzw. Sub-Meter-Bereich liegen wird.

²⁶Der Golfkrieg 1991 war der erste durch Weltraumkomponenten systematisch unterstützte Einsatz [PS92].

²⁷„*Space Assets also provided important capabilities. Improved Weather forecasting capabilities, enabled by space-based sensors, made the application of aerospace power more effective throughout Operation Allied For-*

Pentagon sieht den Weltraum bereits als Teil des taktischen Gefechtsfeldes und sagt eine zunehmende Nutzung voraus [Coh01].

Vor allem die letzten Kriege in Afghanistan (2001) und im Irak (2003) haben klar gezeigt, dass der Weltraum eine Schlüsselkomponente moderner Kriegsführung darstellt. Die US-Streitkräfte sind heutzutage die führende Militärmacht und machen regen Gebrauch vom Weltraum für militärische Anwendungen. Sie sind zugleich aber auch höchst abhängig von diesen. Durch ihre verschiedenen weltraumgestützten Systeme kann das US-Militär verschiedenste Informationen zusammentragen und einen weiten Bereich militärischer Operationen koordinieren, navigieren oder anderweitig unterstützen, einschließlich präziser konventioneller Angriffe.[Pik02] Auch im Hinblick auf die von der USA propagierte Transformation ihrer Streitkräfte, der so genannten „*Revolution in Military Affairs*“ (RMA), spielt der Weltraum eine gewichtige Rolle. Die Verwendung von Weltraumkomponenten ist unerlässlich für das angestrebte globale System aus Befehlsgewalt, Kontrolle, Kommunikation, Computern und Aufklärung (*Command, Control, Communications, Computers and Intelligence (C⁴I)*). Neben den USA werden in den kommenden Jahren weitere Nationen versuchen, ähnliche Fähigkeiten zur Verfolgung ihrer nationalen Interessen zu entwickeln oder nachzuahmen.

Unmittelbare Maßnahmen hinsichtlich der Bewaffnung des Weltraums sind bisher nicht vorgenommen worden. Derzeitige Maßnahmen beschränken sich auf verschiedene Programme und Vorhaben zur bisher „üblichen militärischen Nutzung“²⁸ des Weltraums. Des Weiteren existieren Programme, die einen Bezug oder einen Einfluss auf den Weltraum haben (können). Unter den derzeitigen Maßnahmen existieren sowohl beschlossene und in vollem Umfang durch eine Nation bzw. einen Verbund finanzierte Einzelvorhaben für primär militärische Weltraumkomponenten (z.B. der Bau eines konkreten Aufklärungssatelliten); militärische Programme boden- oder luftgestützter Komponenten, die prinzipiell in den Weltraum wirken können; eher zivil ausgerichtete Systeme im Weltraum mit militärischem Anwendungspotential sowie Rahmenkonzepte, die u.a. durch die Nutzung von militärischen und zivilen Weltraumkomponenten Anforderungen und Bedürfnisse abdecken sollen (z.B. im Bereich der Sicherheits- und Verteidigungspolitik).

In Europa ist die Bündelung einzelner nationaler Fähigkeiten hin zu einem „europäischen Kooperationsverbund“ geplant (siehe u.a. auch Kap. 3.2). Bestandteil eines Anforderungskonzeptes für eine zukünftige europäische Politik sind existierende bzw. im Aufbau befindliche Systeme (u.a. im Weltraum) von einzelnen oder einer Kooperationen von Nationen, deren Information für die Bearbeitung/Erfüllung bestimmter Anwendungsfelder zusammengetragen und bewertet werden sollen. Bei den in diesem Zusammenhang genannten Anforderungen werden u.a. Umweltbeobachtung, Krisenmanagement, aber auch Sicherheits- und Verteidigungspolitik genannt. Deutlich sichtbar wird hierbei der *dual use*-Charakter der Weltraumsysteme, welcher eine explizite Unterscheidung zwischen rein zivilen und rein militärischen Systemen unmöglich macht²⁹. Die für derzeitige und künftige Satelliten gestellten Aufgaben fallen in die Bereiche Telekommunikation, Navigation, allgemeine Erdbeobachtung und militärische Aufklärung. Tabelle 2.4 zeigt eine Auswahl an Maßnahmen.

ce“.[DoD00, S. 58]

²⁸Zu den typischen militärischen Anwendungsfeldern siehe Tabelle 2.2.

²⁹Deutlich wird dies z.B. bei der Kooperation „Optical and Radar Federated Earth Observation (ORFEO)“ von Frankreich und Italien: „The ORFEO dual system must ensure:

- the protection of defence interests in terms of security and priority given to mission requests,
- that civilian or commercial users' needs are satisfied in terms of general operational capacity, quick access to data, image availability and quality and the competitiveness of the services provided“.

Als Nutzerkategorien werden dabei „public, institutional, private and commercial“ sowie „users who come under the authority of the French and Italian Defence Ministries“ angegeben. [<http://smsc.cnes.fr/PLEIADES/orfeo.htm> (10.2004)].

Programm	„Betreiber“	Status/Zeitraum	Funktion/Bemerkung
SAR-Lupe	D (EU)	2005–2007	Radaraufklärung mit einer geometr. Bodenaufklärung von weniger als 1m. Der erste Satellit soll 2005 gestartet, das System bis 2007 fertiggestellt werden. Das System soll bis 2015 Bilder liefern. Neben „nationaler Kernfähigkeit“ auch „Beitrag zu einem künftigen europäischen Aufklärungsverband“ ⁽ⁱ⁾ . SAR-Lupe soll auch der Unterstützung der neuen sicherheitspolitischen und militärischen Strukturen der EU dienen.
Helios-II A/B	F, B(?), E(?)	2004/Ende 2005	Optische Aufklärung ⁽ⁱⁱ⁾
Syracuse III A/B	F, B(?)	2004/2006	Telekommunikationssatellit mit zivilen u. militärischen Anteilen ⁽ⁱⁱⁱ⁾
Galileo	EU/ESA	ca. 2008	Navigationssatellitensystem mit kommerzieller und nicht kommerzieller Vermarktung. Auf einen Experimentalsatelliten (2005) soll eine Testphase mit vier Satelliten (bis 2006/7) folgen. Anschließend ist der Ausbau für den vollen Betrieb vorgesehen. Ein operationeller Betrieb (<i>Full Operation Capability (FOC)</i>) ist für 2008 geplant.
GMES	EU (?)	in Umsetzung	Vorhaben zur Bündelung einzelner nationaler Fähigkeiten. Bestandteile sollen u.a. SAR-Lupe, Cosmo-SkyMed und Pléiades sein.
GMOSS		in Umsetzung	Netzwerk für wissenschaftliche und technologische Forschung zur Unterstützung von GMES im Bereich Sicherheitsaspekte.
ORFEO	F, I		Kooperationsvorhaben unter Nutzung der Systeme Pléiades-HR und Cosmo-SkyMed.
COSMO-SkyMed	I	2005–2007	Programm zur Erdbeobachtung (X-Band Radar). ^(iv)
Pléiades-HR	F	2005	Optische Erdbeobachtung mit 0,7m panchr. und 2,4m multispektral (B,G,R, PIR) ^(v)

Tabelle 2.4: Maßnahmen und Vorhaben mit Bezug zu einer militärischen Nutzung des Weltraums in der EU (Auswahl). Es bezeichnen

GMES: Global Monitoring for the Environment and Security

GMOSS: Global Monitoring for Stability and Security

ORFEO: Optical and Radar Federated Earth Observation

COSMO-SkyMed: Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin observation

⁽ⁱ⁾: vgl. Informationsbrochure OHB System AG [OHB03, Seite 1].

⁽ⁱⁱ⁾: „Les deux systèmes Hélios sont des systèmes d’observation spatiale optique à des fins de sécurité et de défense, assurant l’intégralité de la boucle, depuis la demande de renseignement, jusqu’au produit d’imagerie spatiale exploité, en passant naturellement par la programmation et la réalisation des prises de vues.“ [Franz. Verteidigungsministerium, 18.05.2004, http://www.defense.gouv.fr/sites/dga/enjeux/les_programmes_d_armement/systemes_des_forces/l_information/satellite_helios/le_satellite_helios/ (10.2004).

⁽ⁱⁱⁱ⁾: „Satellite Télécom 2: bande X (SHF), 1 charge utile militaire, 2 charges utiles civiles, 5 répéteurs.“ [Französisches Verteidigungsministerium, 19.05.2004, http://www.defense.gouv.fr/sites/dga/enjeux/les_programmes_d_armement/systemes_des_forces/l_information/satellite_syracuse_iii/equipements590/ (10.2004), siehe auch [Alc01] und <http://www.afcea.org/signal/articles/anmviewer.asp?a=155&z=46> (10.2004).

^(iv): siehe auch <http://www.aleniaspazio.it/program/tlr/cosmo/cosmo.htm> (10.2004).

^(v): siehe auch http://smc.cnes.fr/PLEIADES/GP_satellite.htm (10.2004) sowie [BBD⁺01].

Aufbau, Aufrechterhaltung, Verbesserung und Ausbau der typischen militärischen Nutzung des Weltraums wird auch von anderen Nationen verfolgt bzw. angestrebt. Bei den USA als führende Weltraumnation sind solche Maßnahmen, auch im Bereich der Forschung und Entwicklung, am umfangreichsten. Dementsprechend finden sich in Strategiedokumenten der US-Armee auch weitreichende Visionen zur militärischen Nutzung möglicher zukünftiger Entwicklungen. Am Beispiel USA zeigen sich auch Vorhaben, die prinzipiell in den Weltraum wirken können. Insbesondere das beschlossene globale US-Raketenabwehrprogramm (siehe Kap. 3.4) und die in diesem finanzierten Einzelsysteme beherbergen vielfach technologische Entwicklungen und Prinzipien für mögliche Weltraumwaffen, oder weisen zum Teil bereits selbst inhärente Antisatellitenfähigkeiten auf. Eine Auswahl von relevanten Maßnahmen sowie von (geplanten) Forschungsvorhaben der USA gibt Tabelle 2.5.

Programm	„Betreiber“	Status/Zeitraum	Funktion/Bemerkung
NFIRE	USA	geplant für Juni 2004, verschoben auf 2006 ff.	Experiment im Rahmen des Raketenabwehrprogramms zur Validierung der Wahl von <i>kill vehicle</i> und Sensoren sowie zur Verbesserung der Leit- und Abfangfähigkeiten von bodengestützten Interzeptoren.
Space-Based Laser (SBL)	USA	-	Für 2012 geplante Technologiedemonstration abgesagt, Budget auf konstant US\$ 50 Mio. in den kommenden Haushaltsjahren zurückgestuft.
SBIRS-High	USA	2007-2013	Satelliten in geosynchronen und hochelliptischen Umlaufbahnen. Die Missionsaufgaben umfassen „missile warning, missile defense, technical intelligence and battlespace characterization“.
STSS (ehemals SBIRS-Low)	USA	2006/2007	Satelliten in niedrigen Erdorbits, ausgerüstet mit Infrarotsensoren zur Erkennung, Verfolgung und Unterscheidung von ballistischen Raketen.
Exoatmospheric Kill Vehicle (EKV)	USA	2004	Bestandteil des Ground-based Midcourse Defense (GMD) Systems der Missile Defense Agency (MDA).
Airborne Laser (ABL)	USA	2004–2008	Hochenergielaser an Bord eines Flugzeuges (Boeing 747-400F Frachtversion) zur Bekämpfung ballistischer Raketen in der Startphase.
MPX	USA	?	Vorhaben im Kontext von Miniatursatelliten. Vorhaben würde auch zwei zweistufige Antriebseinheiten zur Raketenabwehr (<i>anti-missile propulsion units</i>) umfassen – eine Schlüsselkomponente für SBI.

Tabelle 2.5: Maßnahmen und Vorhaben mit Bezug zu einer militärischen Nutzung des Weltraums in den USA (Auswahl).

MPX: Micro-Satellite Propulsion Experiment

NFIRE: Near Field Infrared Experiment

SBI: Space Based Interceptor(s)

SBIRS: Space-Based Infrared System

STSS: Space Tracking and Surveillance System

Bemerkung zu NFIRE

Die Nachricht „We’re crossing the Rubicon into space weaponization“ eines nicht genannten Regierungsbeamten und Sicherheitsexperten an die *United Press International* im Jahr 2004 brachte das „Near Field Infrared Experiment“ (NFIRE) in eine breitere Diskussion im Kontext

von Weltraumwaffen³⁰. Vor allem der Mangel an genaueren Einzelheiten zum Experiment lässt Spielräume in der Interpretation des experimentellen Vorhabens und der dahinterliegenden Motivation.

NFIRE ist ein Telexperiment im Rahmen des Raketenabwehrprogramms der USA und soll der *Missile Defense Agency (MDA)* zum einen zur Validierung der Wahl des *kill vehicles* und der Wahl der Sensoren dienen, zum anderen soll es zur Verbesserung der Leit- und Abfangfähigkeiten von bodengestützten Interzeptoren beitragen. Das Experiment war ursprünglich für Juni 2004 geplant und wurde später zunächst auf „*Early 2006*“ verschoben. Die MDA hat für den Haushalt 2005 für NFIRE US\$ 68 Mrd. angefordert³¹.

Über das Experiment ist bekannt, dass das primäre Ziel in der Erhebung von Messdaten liegt. Durch diese soll eine Klassifikation von Abgasstrahlen von Raketen sowie verschiedener fester Körper ermöglicht werden und damit die Entwicklung von Algorithmen für u.a. den vom Kill vehicle durchzuführenden Abfangvorgang (*boost phase endgame*). Beim Experiment soll ein Satellit in einen Erdorbit gebracht werden, welcher mit verschiedenen Sensoren Daten in verschiedenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums, vom Sichtbaren bis zum Infraroten, u.a. von am Satelliten „vorbeifliegenden“ Raketen misst. Außerdem sollen Daten zur frühzeitigen Erkennung von Raketenstarts³², im Bereich *sensor tracking* und zur Charakterisierung des Hintergrunds (*earth background*) gewonnen werden. [DoD04, Seiten 3, 5, 6, 10]

Während des Experiments will die MDA zwei ballistische Raketen in Richtung eines Satelliten starten, um *fly-by*-Tests in 20km und 3,7km durchzuführen. Wesentlicher Kritikpunkt am Experiment ist, dass ein *kill vehicle* der 2ten Generation Bestandteil der Nutzlast sein soll. Dieses soll während des 3,7km-*flyby*-Tests vom NFIRE-Satelliten aus gestartet werden. Unklarheiten herrschen bei diesem Teil des Experiments bezüglich der Beschaffenheit des *kill vehicles* selbst und der von diesem durchzuführenden Aufgabe, z.B. mit welcher Art von Antriebsdüsen (Steuer- und/oder Schubdüsen) das *kill vehicle* bestückt sein wird [Lew04], oder inwieweit die Möglichkeit einer Kollision zwischen *kill vehicle* und anfliegender Rakete besteht und welche Konsequenzen daraus resultieren könnten:

„The committee notes that the Missile Defense Agency intends to conduct a test of the near field infrared experiment (NFIRE) that will likely result in a collision between the target missile and the NFIRE spaceborne sensor. The committee is concerned that effects of the space debris from such an impact are not well enough understood. The committee directs that this test, if it proceeds as planned, be conducted in such a manner as to prevent an impact. The committee directs the Director of the Missile Defense Agency to provide the congressional defense committees a report no later than March 15, 2005, on the risks to space assets posed by debris that would result from an impact between the NFIRE sensor and a target missile. The committee urges the Missile Defense Agency to explore cost-effective alternatives for collecting near-field data on missile plumes.“ [CAS04, S. 243]

Mittel für NFIRE wurden im Mai 2004 vom *US Senate Armed Services Committee* mit der Beschränkung autorisiert, dass ein Abfang (*intercept*) des Ziels vermieden werden soll. Nach der Streichung der Mittel im Juni beschieden das *House of Representatives* und der Senat im August 2004 die Erhaltung der Finanzierung in der ursprünglichen Höhe. [CCE⁺05]

Prinzipiell können die im Rahmen des NFIRE-Experiments geplanten Tests als potenzielle (Teil-)Technologieimplementierung für einen weltraumgestützten Interzeptor gesehen werden.

³⁰Vgl. hierzu auch [Bec04, Lal04]

³¹Finanziert unter dem Programmelement 0603886C: Ballistic Missile Defense System Interceptor. [LC04]

³²D.h. der Infrarotbereich ist nicht auf das nahe Infrarot (Silizium ist bis $\approx 1\mu\text{m}$ empfindlich) beschränkt, sondern erstreckt sich auch auf Bereiche des „thermischen“ Infrarot, vgl. zum Themenfeld Sensorik z.B. [Rot03].

Ein vom Pentagon vorbereiteter Vorschlag deutet darauf hin, dass das *kill vehicle* nicht mehr Bestandteil des Experiments sein wird.³³ Mittlerweile wurde wegen technischer Schwierigkeiten die Hauptschubdüse des *kill vehicles* entfernt und der Starttermin auf das letzte Quartal 2006 verschoben. *Fly-by*-Tests sind für 2007 geplant. Derzeit ist im Rahmen des NFIRE-Experiments ein *fly-by* von ein oder zwei Raketen in 20km Entfernung geplant, welches eher eine *kill operation* simulieren soll, als der Abtrennung des *kill vehicles* vom Satelliten und der Durchführung eines Abfangs in einiger Entfernung. Das *kill vehicle sensor package* wird an Bord verbleiben. [CCE⁺05, S. 141]

Technologieentwicklungen mit militärischem Anwendungspotenzial stellen auch Transatmosphärische Flugzeuge dar. Solche wiederverwendbaren Flugkörper, die den Weltraum durchqueren oder einige Zeit in diesem verbleiben können, sind z.T. bereits realisiert (z.B. das amerikanische Space Shuttle oder der russische Raumgleiter Buran) oder befinden sich noch in der Forschung und Entwicklung. Viele der in der Vergangenheit begonnene Vorhaben wurden aus Kostengründen eingestellt. Tabelle 2.6 nennt einige Vorhaben zu transatmosphärischen Flugzeugen, der Programmstatus ist dabei zum Teil nicht klar. Die Programme sind in erster Linie auf kommerzielle Anwendungen hin ausgerichtet.

Programm	„Betreiber“	Status/Zeitraum	Funktion/Bemerkung
X40 und Nachfolger X-37	USA	Seit 1998	Technologiedemonstrator „space transportation“. 3 Phasen: i) X-40A free-flight series, ii) X-37 unpowered flights und iii) orbital test flights.
Ascender	Bristol Spaceplanes Limited (UK)	?	?
Maks	RUS	?	Air-Launched reusable Orbiter with expendable fuel tank. Program cancelled (?).
H-II Orbiting Plane Experimental vehicle (HOPE-X)	Japan	?	Technologiedemonstrator ist geplant, bisher 5 Einzelexperimente ⁽ⁱ⁾ für den eigentlichen Demonstrator.

Tabelle 2.6: Vorhaben mit militärischem Anwendungspotential – Transatmosphärische Flugzeuge/*Space-Plane*

⁽ⁱ⁾: Orbital Reentry Experiment OREX (1994), Hypersonic Flight Experiment HYFLEX (1996), Automatic Landing Flight Experiment ALFLEX (1996), High-Speed Flight Demonstration I HSF-D-I (2002) sowie High-Speed Flight Demonstration II HSF-D-II (2003) [http://www.jaxa.jp/missions/projects/engineering/space/next/index_e.html (10.2004)]

Im Oktober 2004 gelang es dem durch private Mittel finanzierten *SpaceShipOne* zweimal innerhalb einer Woche eine Person sowie eine der Masse dreier Personen entsprechenden Nutzlast in eine Höhe von 100km zu bringen und so den mit US\$ 10 Millionen dotierten *Ansari X Prize* zu gewinnen. Motiviert durch diesen Erfolg wurden weitere Vorhaben zum kommerziellen Raumflug ausgerufen. [CCE⁺05, S. 70]

³³Nach Angaben von [CDI, Space Security Update #17.2004, Aug. 30, 2004] bzw. [Space.com Inc., Space News, Aug. 23, 2004].

2.3.4 Weltraumsicherheit

Die zunehmenden Aktivitäten im zivilen, kommerziellen und militärischem Bereich, die steigende Zahl der Raumfahrtakteure und die technologische Dynamik haben zu einer internationalen Debatte zur künftigen „Sicherheit im Weltraum“ geführt. *Space Security* wird im Rahmen des *Space Security Projects* definiert als: „A secure and sustainable access to and use of space, and freedom from space-based threats“ [CCE⁺05]. In Zusammenarbeit mit Weltraumexperten überprüfte das Projekt erstmalig im Jahr 2003 „Weltraumsicherheit“. ³⁴ Acht Indikatoren (siehe Tab. 2.7) dienen dazu, die Veränderungen der Trends und Entwicklungen der Weltraumsicherheit in Bezug zum Vorjahr auf Grundlage von Expertenmeinungen abzuschätzen. Neben dieser Delphi-Statistik bietet der *Space Security 2004* eine umfangreiche Darstellung der Entwicklungen in den Indikatorbereichen [CCE⁺05]. 71% der Arbeitsgruppe, die dem *Space Security Index* zuarbeiten, kamen im Jahr 2004 zu dem Ergebnis, dass sich die Weltraumsicherheit gegenüber dem Vorjahr verschlechtert hat. Dieses zunächst pauschale Expertenurteil wird in Tabelle 2.7 spezifiziert. Eine Verschlechterung wird jedoch vor allem auf Indikatoren mit militärischem Bezug konstatiert (Tabellenpunkte 2, 5 und 7).

Nr.	Indikator	Schwerpunkte	Weltraum Sicherheit
1	Weltraumumgebung	Weltraumtrümmer; Überwachung, Vergabe von Umlaufbahnen und Frequenzen	○
2	Weltraumrecht, -politik, -doktrinen	Friedliche und militärische Nutzung, Int. Kooperation; Doktrinen, PAROS , COPUOS	↓
3	Zivile Programme und globale Nutzung	Zahl der Akteure, Programme, Kooperationen und weltweiter Nutzung	○
4	Kommerzielle Nutzung	Startkosten, Einkünfte, Subventionen	○
5	Militärische Nutzung für Bodenoperationen	Militärsatelliten, Streitkräfte und Akteure	↓
6	Schutz von Weltraumsystemen	Detektion von Starts, Schutz von Bodenstationen, Satelliten, Neustartmöglichkeit	↑
7	Negierung von Weltraumsystemen	Waffentechnologien und Weiterverbreitung. Überwachung, Manövrierbarkeit, Zielführung	↓
8	Weltraumgestützte Angriffswaffen	Entwicklung von Waffentechnologien einschl. Raketenabwehr	○

Tabelle 2.7: Indikatoren zur Weltraumsicherheit 2004 in Anlehnung an [CCE⁺05]. Es bedeuten: ↑: Verbesserung; ○: keine oder geringe Verbesserung; ↓: Verschlechterung

³⁴Vgl. www.spacesecurity.org .

3 Anhaltspunkte für eine mögliche Bewaffnung des Weltraums

Mit dem Ende des Kalten Krieges und der Auflösung der alten Blockformationen sieht sich die westliche Sicherheitspolitik neben alten Konfliktlagen mit neuen Bedrohungsszenarien konfrontiert. Durch das Fehlen von gleichwertigen Konkurrenten bereiten sich die politischen Akteure auf eine Vielzahl von neuen Bedrohungen vor. Mögliche Konflikte sind neben ethisch-politischen Konflikten und Ressourcenkonflikten auch die Bedrohung durch Massenvernichtungswaffen (MVW) in den Händen staatlicher oder gar substaatlicher Akteure. Auch der internationale Terrorismus wird als Gefahr angesehen, was besonders nach dem 11. September 2001 die sicherheitspolitischen Debatten geprägt hat.

3.1 Doktrinentwicklung in den USA

Vor allem die USA – als derzeit führende Weltmacht – sehen sich deutlich mit der Notwendigkeit konfrontiert, Doktrinen zu entwickeln, um auf neue Gefahren vorbereitet zu sein. Durch ihre technische und ebenso politische Führungsrolle bestimmen sie Inhalte und Tempo zukünftiger Entwicklungen im Bereich der Sicherheitspolitik, mit denen sich andere Staaten konfrontiert sehen. Dies gilt insbesondere auch für den Bereich Weltraum, welcher militärisch wie auch kommerziell genutzt wird und in welchem die USA ihre Führungsrolle erhalten bzw. festigen und ausbauen wollen.

Nach Joan Johnson-Freese schlägt sich auch eine metaphorische Dimension der US-amerikanischen Weltraumpolitik in der Sicherheits- und Wirtschaftspolitik nieder: „In the US the best way to assure long-term support is to tie space to a broader strategic vision or context: international cooperation, leadership, national identity, and particularly security [...]“ [JF04]. Für die „strategische Vision“ zählt die Ausstrahlungskraft der strategischen Dimension des Weltraums: „Symbolism is everything in space“ [JF04].

3.1.1 Bedrohungsanalysen in den USA

Seit etwa Mitte der 1990er Jahre rückt in den strategischen Schlüsseldokumenten der USA der Weltraum zunehmend in den Blickpunkt des Diskurses über militärische Bedrohungen und Fähigkeiten. Als zukünftiger Verantwortungsbereich (*area of responsibility*) stellt sich der Weltraum bereits jetzt als – durch den USA feindlich gesonnene Akteure – gefährdete und verwundbare zivile und militärische Ressource dar [SC01, S. 22]. Der Weltraum wird zugleich aber auch als ein Medium angesehen, das interessante militärische Möglichkeiten eröffnet, beispielsweise um eigene Schutzmaßnahmen zu ergreifen, Abschreckung zu realisieren oder eine weltweite Informationshoheit (*information superiority*) zu ermöglichen. Neben der Wahrung von militärischer Überlegenheit durch Weltraumkomponenten gilt es auch, eine militärische Überlegenheit im und durch den Weltraum zu gewinnen.

Im Zusammenhang mit den zunehmend sich verfestigenden Erwartungen asymmetrischer

Kriegsführung durch Gegner, die den USA in militärischen und technologischen Fähigkeiten unterlegen sind, sowie von Informations-Operationen, Terrorismus und der Nutzung von Massenvernichtungswaffen wird davon ausgegangen, dass die USA sich auf Angriffe gegen Satelliten (gleich ob zivile oder militärische) einrichten müssen und dass entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Die von Donald Rumsfeld, bevor er Verteidigungsminister wurde, geleitete Commission to Assess United States National Security Space Management and Organization (*Space Commission*) konstatierte in ihrem Bericht von 2001 eine erhebliche Verwundbarkeit sowohl der Satelliten als auch der dazugehörigen Bodenkomponente [SC01, S. 22]. Der Bericht kam als Resultat aus seiner Bedrohungsanalyse zu folgenden Einschätzungen:

- Die Vereinigten Staaten sind stärker als jedes andere Land von der Nutzung des Weltraums abhängig. Zugleich sind ihre Weltraumsysteme, wie jede andere Weltraumkomponente anderer Staaten auch, verwundbar.
- Länder, die gegenüber den USA feindselig eingestellt sind, besitzen oder beschaffen die Mittel, um US-Weltraumsysteme zu stören oder zu zerstören.
- Die USA bilden deshalb ein attraktives Ziel für ein „*Space Pearl Harbor*“.

Ähnliche Eindrücke zur Abhängigkeit vom Weltraum, zum zukünftigen Zugang und möglichen Bedrohungen nennt auch das *US Airforce Space Command (USAFSPC)*. Es kommt zu dem Schluss, dass eine Verhinderung des Zugriffs auf Weltraumkomponenten die US-Fähigkeit zur Kriegsführung ernsthaft berühren könnte, Weltraumsysteme potenziell empfindlich gegenüber offensiven Gegenmaßnahmen sind und dass potenzielle Gegner – im Rahmen ihrer technischen Möglichkeiten – durch offensive Gegenmaßnahmen eine Herausforderung für den US-Zugang zum Weltraum darstellen könnten [SMP03, S. 5].³⁵ Nach dem USAFSPC sind viele der potenziellen Gegner bereits heute fähig, US-Weltraumsysteme anzugreifen und Angriffe von Staaten oder nicht-staatlichen Akteuren auf US-Militär-, zivile oder kommerzielle Weltraumsysteme sind anzunehmen: „We know that many potential adversaries are capable of attacking US space systems today. A system consists of three segments: space, link, and ground/surface segments. We must expect further attacks by nation-states or non-state (e.g. terrorist) actors on US military, civil, or commercial space systems.“ [SMP03, S. 22]

U.a. die *Space Commission* ordnet die nationalen Sicherheitsinteressen der USA im Weltraum in die „nationalen Top-Prioritäten“ ein und empfiehlt, dass „die USA die Mittel entwickeln müssen, um feindliche Angriffe in und aus dem Weltraum abzuschrecken oder sich dagegen verteidigen zu können“. Zu diesen Mitteln gehören auch im Weltraum stationierte Waffen: „The Commission believe the U.S government should vigorously pursue the capabilities called for in the National Space Policy to ensure that the president will have the option to deploy weapons in space to deter threats to, if necessary, defend against attacks on U.S. interests.“ [SC01, S. 12]

Auch die *US Commission on National Security/21st Century* unterstreicht die überragende Bedeutung des Weltraums nachdrücklich, ebenfalls die Abhängigkeit der USA und ihrer Streitkräfte von ihrer Weltrauminfrastruktur [USC99, USC00, USC01]. Der unbehinderte Zugang in den Weltraum, dessen uneingeschränkte kommerzielle und militärische Nutzung sowie der Schutz der Weltrauminfrastrukturen werden von den USA als „vitales nationales Interesse“ bezeichnet (siehe auch Abb. 3.1).

³⁵Zur Verwundbarkeit von Weltrauminfrastruktur siehe auch Kapitel 4.1.

„Space is not simply a place from which information is acquired and transmitted or through which objects pass. It is a medium much the same as air, land, or sea.“ [SC01, S. 13]

„In the coming period, the U.S. will conduct operations to, from, in, and through space in support of its national interests both on earth and in space. As with national capabilities in the air, on land, and at sea, the U.S. must have the capabilities to defend its space assets against hostile acts and to negate the hostile use of space against U.S. interests.“ [SC01, S. 13]

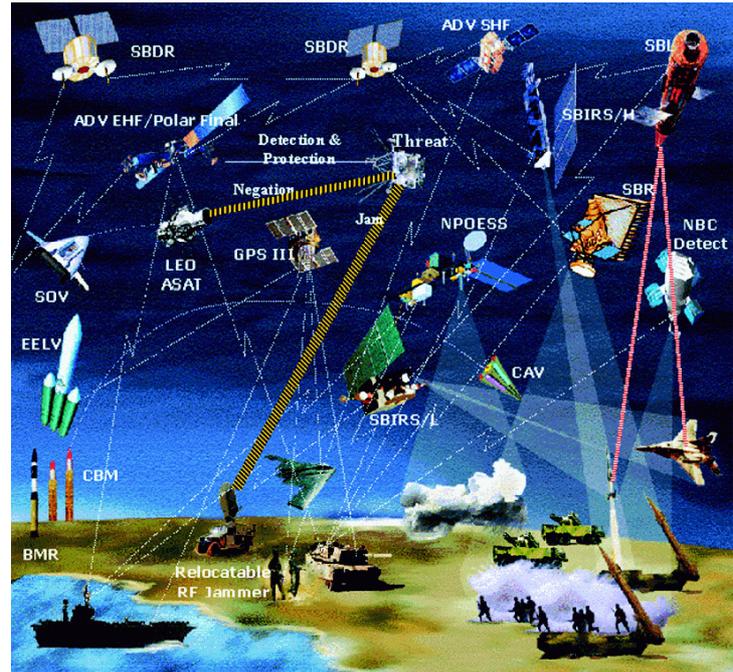


Abbildung 3.1: Visionen der US Space Commission. [SC01, S. 13]

In den Bedrohungsanalysen der Strategen der US-Teilstreitkräfte wird davon ausgegangen, dass sich der Schwerpunkt militärischer Operationen gegen die Weiterverbreitung von Massenvernichtungswaffen, Trägersystemen sowie gegen terroristische Aktivitäten richten wird. Als Akteure werden den USA feindlich gegenüberstehende Staaten wie Nordkorea, Iran und Libyen sowie substaatliche Akteure identifiziert. [Nuclear Posture Review, S. 16 zitiert nach [Glo02].] Schon vor den Anschlägen auf das World Trade Center vom 11. September 2001 warnten US-Analysten davor, dass insbesondere Iran, Irak und Nordkorea Trägersysteme und Massenvernichtungswaffen entweder selbst entwickeln oder versuchen, in ihren Besitz zu gelangen. Stephen M. Younger, Associate Laboratory Director for Nuclear Weapons, Los Alamos National Laboratory, sieht Konflikte zwischen den Großmächten USA, Russland und China, aber auch regionale Konflikte mit potenziellen Nuklearstaaten oder Konflikte unter Beteiligung von terroristischen oder anderen nicht-staatlichen Gruppen als zukünftige strategische Bedrohungen („Strategic Threats in 2020“) [You00].

Seit dem 11. September 2001 dominiert das Bedrohungsszenario aus Weiterverbreitung von MVW und Trägersystemen in Kombination mit terroristischen Akteuren den sicherheitspolitischen Diskurs in den USA.

Die Wahrnehmung hat sich von einer angeblich kalkulierbaren Bedrohung während des Kalten Kriegs dahingehend gewandelt, dass für die neue Situation althergebrachte Abschreckungs- und Rüstungskontrollstrategien nicht adäquat seien. Das Konzept der Militärdominanz (*military dominance*) reflektiert die Schwerpunktverlagerung. Unter Verteidigungsminister Donald Rumsfeld wurde der Prozess der Streitkräftetransformation initiiert, der den Wechsel von einem bedrohungsbasierten Ansatz (*threat-based approach*) zu einem fähigkeitsbasierten Ansatz (*capability-based approach*) markiert. Damit einher gehen das Konzept der so genannten *full spektrum dominance*, für Einzelheiten siehe z.B. [NKR02]. Die militärische Überlegenheit der USA soll gegen jeden möglichen Gegner überall auf der Welt gewährleistet sein. Eine auf einen Angriff mit Langstreckenraketen auf die USA fokussierte Bedrohungsanalyse, sei es durch staatliche oder nicht-staatliche Akteure, stützt die Argumentation der Befürworter eines weltweiten

Raketenabwehrsystems.[WH02b]

Die führende Weltmacht betrachtet sich als eine Nation in einer Art permanentem Kriegszustand. Dieses Interpretationsschema strukturiert die Argumentation der Bedrohungsanalyse und legitimiert auch den präventiven Einsatz militärischer Gewalt. So greift die *National Security Strategy (NSS)* der USA vom September 2002 ein solches Bedrohungsschema auf und schlägt den präventiven Einsatz militärischer Mittel vor, um einem möglichen Angriff durch mit Massenvernichtungswaffen bestückten Raketen zuvorzukommen [WH02a].

Neben den bereits genannten Studien haben sich in den letzten Jahren auch weitere Studien, z.B. die *U.S. Air Force's Vision 2020* (1997) [AF97], der *U.S. Space Command's Long Range Plan* (1998) [LRP98], der regelmäßig erscheinende *Strategic Master Plan (SMP)* des *US Airforce Space Command (USAFSPC)* (siehe z.B. [SMP00, SMP02, SMP03]), oder das *Air Force Doctrine Document (AFDD) 2-2* [USA01] für eine erhebliche Verstärkung der US-Weltraumpläne eingesetzt. Tabelle 3.1 gibt eine ausgewählte Übersicht zu relevanten Dokumenten.

White House	National Space Policy NSTC-8 [WH96]
DoD	Directive 3100.10, Space Policy [DoD99] Quadrenial Defense Review [DoD01]
Joint Staff	JP 3-14, Space Operations [JS02] US National Military Strategy [JS04]
Air Force	U.S. Air Force's Vision 2020 [AF97] Doctrine Document 2-2, Space Operations [USA01] Transformation Flight Plan [ATF03] Doctrine Document 2-2.1, Counterspace Operations [USA04]
USAFSPC	Long Range Plan [LRP98] Strategic Master Plan [SMP00, SMP02, SMP03]

Tabelle 3.1: Planungen und Visionen in der Doktrin der US Administration(en). Tabelle in Anlehnung an [LC04].

Verallgemeinert bezeichnen die Dokumente und Studien die Weltraum als wichtige Ressource. Der unbehinderte Zugang in den Weltraum, sowie dessen uneingeschränkte kommerzielle und militärische Nutzung werden von den USA als zukünftiger Verantwortungsbereich gewertet. Der Weltraum wird als ein Medium angesehen, das interessante militärische Möglichkeiten eröffnet, beispielsweise um eigene Schutzmaßnahmen zu ergreifen, Abschreckung zu realisieren oder eine weltweite Informationshoheit zu ermöglichen. Neben der Wahrung von militärischer Überlegenheit durch Weltraumkomponenten gilt es auch, eine militärische Überlegenheit im und durch den Weltraum zu gewinnen. Gleichzeitig wird der Weltraum bzw. die Weltrauminfrastrukturen als – durch den USA feindlich gesonnene Akteure – gefährdete und verwundbare zivile und militärische Ressource dargestellt. Konstatiert werden eine starke Abhängigkeit der USA vom Weltraum, eine erhebliche Verwundbarkeit sowohl der Satelliten als auch der dazugehörigen Bodenkomponenten und die Fähigkeit potenzieller Gegner der USA, US-Weltraumsysteme zu stören oder zu zerstören.³⁶ Eine Verhinderung des Zugriffs auf Weltraumkomponenten könnte nach Ansicht des *US Airforce Space Command* die Fähigkeit der USA zur Kriegsführung ernsthaft berühren. Die *Space Commission* schätzt die USA als attraktives Ziel für ein „*Space Pearl Harbor*“ ein, Komponenten von Weltraumsystemen werden vom USAFSPC als anzunehmende

³⁶T. Hitchens bemerkte im Kontext der Bedrohungswahrung: „Neither vulnerabilities in American systems nor the potential capabilities of others necessarily translate into threats“ [Hit03, S. 22].

Ziele genannt³⁷. Tabelle 3.2 zeigt beispielhaft das Spektrum von möglichen Bedrohungen und aktiven und passiven Gegenmaßnahmen, die in den USA diskutiert werden.

Mission	Threat	Measures
Protecting U.S. Satellites	Denial and Deception Ground-Station Attacks High-Altitude Nuclear Explosion Electronic Warfare Sensor Blinding Microsatellites, debris clouds, ASAT	Replacable satellites; UAVs ^(a) ; Stealth capabilities; hardening and protection Hardening and protection Blinding-Laser in Orbit Maneuvering, Bodyguard satellites, self-defense
Countering Adversaries in Space: Space Control	Offensive counterspace, ASATs, EW	
Space as ultimate high Ground	Different targets in space	Rod penetrators, CAV, SBL, Boost-Phase Intercept, UCAVs
Space Weapons for defense against BM	Reentry warheads and ballistic missiles	SBI, SBL

Tabelle 3.2: Missionen für künftige Weltraumwaffen nach [Gar00].

^(a): Zur Entwicklung von UAVs siehe z.B. [DoD02a].

Aus der Bewertung des Weltraums folgt zum Teil der Anspruch, Weltraumzugang und -nutzung durch andere Raumfahrt treibende Akteure nur insoweit zuzulassen, als dass deren Vorhaben nicht die Sicherheitsinteressen der USA behindern. Das Konzept der Weltraumdominanz (*space dominance*) bzw. der Weltraumkontrolle (*space control*) wird vom *Department of Defense* als Schlüsselkomponente zukünftiger Rüstungsdynamik begriffen [DoD01, S. 7]. Auch andere US-Dokumente dokumentieren Vorstellungen und Ansätze für *space control*, so z.B. der regelmäßig erscheinende *Strategic Master Plan* (siehe Kap. 3.1.2).

Am 24. Mai 2005 meldete die *New York Times*, die *US Air Force* habe dem US-Präsidenten eine Direktive zur Unterschrift vorgelegt, die dem US-Militär weitere Schritte für eine „Kontrolle des Weltraums“ gestatten.³⁸ Im Jahr 2004 hatte die *US Air Force* erstmalig das offizielle Strategiedokument „*Air Force Doctrine 2-2.1: Counterspace Operations*„ [USA04] verabschiedet, das den Ansatz der Luftwaffe³⁹ beschreibt, wie in Zukunft Kriege im Weltraum zu führen sind. Im Vorwort erläutert Generalstabschef John P. Jumper: „This publication codifies United States Air Force (USAF) beliefs and practices on the use of counterspace operations in planning and executing military operations.“ [USA04, S. ii]. *Space Superiority* wird darin offiziell ein Teil des Spektrums der *US Air Force*, ohne dass etwa der US-Kongress darüber eine Diskussion geführt hätte. Kritiker verweisen darauf, dass das Tabu der Weltraumbewaffnung somit entscheidend unterhöhlt wird. Der Eingangssatz der AFD definiert: „US Air Force counterspace operations are the ways and means by which the Air Force achieves and maintains space superiority. Space Superiority provides freedom to attack as well as freedom from attack. . . . Space

³⁷Das USAFSPC gliedert ein Weltraumsystem in die drei Segmente Weltraum, Verbindungen (*link*) und Boden/Oberfläche [SMP03, S. 22]. Zu den Komponenten eines Weltraumsystems siehe auch Abbildung 4.1.

³⁸New York Times, 24. Mai 2005.

³⁹Zu *US Airforce* und Weltraum siehe z.B. [HN98].

and air superiority are crucial first steps in any military operation.“ [USA04, S. 1]. Das Dokument unterscheidet defensive und offensive „Counterspace Operations“ und beschreibt mögliche Implementierungsmaßnahmen (siehe Tabelle 3.3). Herausgestrichen werden die sog. fünf „Ds“: *Deception, Disruption, Denial, Degradation und Destruction*. Als mögliche Ziele werden sowohl Satelliten wie auch Bodenstationen, Kommunikationsverbindungen oder Startanlagen genannt [USA04, S. 32].

	Intention	Maßnahmen
Defensive Counterspace Operations (DCS)	„the means to deter and defend against attacks and to continue operations by limiting the effectiveness of hostile action against U.S. space assets and forces“ [USA04, S. 26]	Passive Schutzmaßnahmen, Detektion von Angriffen, Manövrieren, Abfangen von ASAT, Rückhol-Aktionen etc.
Offensive Counterspace Operations (OCS)	OCS may target an adversary’s space capability (space system, forces, information links, or third-party space capability), using a variety of permanent or reversible means“ [USA04, S. 26]	Flugzeuge und Raketen, Spezialtruppen, ASATS, DEWs, network warfare operations, Elektronik Warfare etc.

Tabelle 3.3: Definition und Maßnahmen von Counterspace Operations im Rahmen der *Air Force Doctrine* [USA04].

Die Kodifizierung von *Counterspace Operations* in der *Air Force Doctrine* gibt der *US Airforce* die Möglichkeit, Programme zu initiieren und Technologien zu testen, um die dort gemachten Vorgaben einzuhalten. Einen weiteren Zwischenschritt bildet der November 2003 veröffentlichte *US Air Force Transformation Flight Plan* [ATF03]. Er beschreibt die Umstrukturierungsanstrengungen und -ziele der *US Airforce* und beinhaltet technologische Demonstrationsprogramme wie künftige Systemkonzepte. Ein detaillierter Anhang umfasst konkrete Weltraumwaffen wie z.B. luftgestützte ASAT-Raketen, weltraumgestützte Jammer-Satelliten, Spiegel zum Umlenken von Laserstrahlung und Hochgeschwindigkeitsmetallstäbe, um Ziele auf der Erde zu treffen. Viele der dort vorgestellten Systeme tragen unmittelbar zur „Bewaffnung des Weltraums“ bei. Ein Militärfachmann der Navy fasst zusammen: „There seems little doubt that space-basing of weapons is an accepted aspect of the Air Force transformation planning.“ [Har05, S. 45].

Die Konsequenz solcher Argumentationen ist nicht nur die Notwendigkeit der Entwicklung offensiver Weltraumwaffen, um die eigene Weltrauminfrastruktur zu schützen, sondern auch das Risiko eines Rüstungswettlaufs im Weltraum einzugehen, indem Techniken zur Verhinderung der Weltraumnutzung auf unabsehbare Zeit immer weiter entwickelt und verbessert werden.

3.1.2 Pläne zur Nutzung des Weltraums

Die Strategiediskussion zum Weltraum wird seit jeher von einer kontinuierlichen Debatte über die zu erfüllenden technologischen Voraussetzungen begleitet, um angesichts der potenziellen Bedrohungen „Überlegenheit“ oder Kontrolle im Frieden, in Krisen und im Krieg zu sichern. Als wichtiger Akteur hat beispielsweise das USAFSPC bereits frühzeitig aktuelle und zukünftige Technologien aufgelistet, für die aus seiner Sicht Bedarf besteht, siehe Tabelle 3.4.

Der vom USAFSC veröffentlichte *Strategic Master Plan* stellt dessen Planungen und Visionen für einen Zeitraum von 25 Jahren vor. Der im Oktober 2003 vorgelegte „Strategic Master

<i>Current/Near Term Capability</i>	<i>Migration Option</i>	<i>Core Competencies</i>
AWACS; JSTARS; BMEWS; PAVE PAWS	→ Space-Based Radar	→ Information Superiority; Air & Space Superiority
Airborne Spectral Imagery	→ Space-Based HSI	→ Information Superiority
Ground-Based Range Operations.	→ Space-Based Range	→ Air & Space Superiority
Ground-Based Electro-Optical Deep Space Surveillance (GEODSS)	→ Space-Based E-O Network	→ Space Superiority
Deep Strike of Hardened, Deeply Buried Targets	→ High Speed Precision Penetrator	→ Global Attack
Expendable Launch Vehicle; Ground-Based Counter-Space; ISR Constellations	→ Space Operations Vehicle	→ Rapid Global Mobility; Air & Space Superiority; Information Superiority
Theater Missile Defense/ National Missile Defense Interceptors; Ground-Based KE ASAT	→ Space-Based Laser	→ Global Attack; Air & Space Superiority

Tabelle 3.4: Planungen von Waffensystemen des US Space Command (USSPACECOM) für die nächsten Dekaden [PCG03].

Plan for FY06 and Beyond“ [SMP03] präsentiert die Vorstellungen des USAFSPC für den Zeitraum der Haushaltsjahre (*Fiscal Year (FY)*) 2006 bis 2030, gegliedert in drei Zeitabschnitte: kurzfristig (FY06-11), mittelfristig (FY12-17) und langfristig (FY18-30). Tabelle 3.5 gibt einen Überblick über die Ziele, die in den verschiedenen Zeitabschnitten erreicht werden sollen.

Die Planungen zeigen, dass die nahtlose Integration von Weltraumfähigkeiten in Militäroperationen bis 2011 erreicht werden soll. Im selben Zeitraum sollen zudem enge Partnerschaften verschiedener Militärdienste und *National Security Space Partner* die Maximierung begrenzter Ressourcen sowie die Fokussierung von Technologieentwicklungen ermöglichen. Priorisiert werden die Transformation des *Space Force Enhancements (SFE)* für eine maximale Unterstützung der Truppen sowie *Command & Control (C²)* Fähigkeiten im Bereich Weltraum und routinemäßige Weltraumstarts. Neben Nuklearer Abschreckung/Angriff werden defensive Gegenmaßnahmen (*Defensive Counter Space (DCS)*), Fähigkeiten der *Space Situation Awareness (SSA)* sowie grundlegende/einführende Arbeiten (*initial work*) in den Bereichen offensive Gegenmaßnahmen (*Offensive Counter Space (OCS)*) und Weltraumstarts (*responsive space-lift*) betont, welche mittel- und langfristig die Grundlage für Kampffähigkeiten (*space combat capabilities*) legen sollen [SMP03].

Weltraum- und Informationsüberlegenheit (*Space/Information Superiority*) soll bis 2017 erreicht werden. Neben der Umsetzung eines neuen Weltraumzugangs⁴⁰ zählen dazu auch die Möglichkeit, schnelle Angriffe an jedem Punkt der Erde durchzuführen (*prompt global strike*), die Fähigkeit erweiterter Kommunikation (*Transformational Communication*) und das Erkennen von sich am Boden bewegenden Objekte aus dem Weltraum (*Ground Moving Target Indicator (GMTI)*). Den Fähigkeiten von *responsive spacelift*-Fähigkeiten wird für den mittelfristigen Zeitraum eine zunehmende Bedeutung mit Blick auf globale Angriffsfähigkeiten und defensive

⁴⁰„[...] will deploy a new generation of responsive space access [...]“ [SMP03, S. 10].

Zeitraum	Ziele
<i>Near-Term (bis 2011)</i>	Integrate space capabilities into military operations Space force enhancement transformation
<i>Mid-Term (bis 2012-2017)</i>	New generation of responsive space access Gain prompt global strike capabilities Gain space superiority capabilities
<i>Far-Term (2018-2030)</i>	Obtain full spectrum space combat command Obtain and maintain space superiority Obtain and maintain battlespace awareness Gain ability to apply conventional combat in, from and through space Development of a flexible and responsive global deterrent force Prompt global strike, predictive battlespace awareness, targeting-quality information, space situation awareness, defensive counterspace, offensive counterspace

Tabelle 3.5: Zeitplanung und Ziele im *Strategic Master Plan for FY06 and Beyond* des USAFSPC [SMP03].

Gegenmaßnahmen⁴¹ beigemessen.

Die Fähigkeit, einen Kampf zu einem Gegner im, durch den oder aus dem Weltraum heraus zu tragen ist im Zeitraum bis 2030 geplant. Hierzu soll der Fokus auf *Battlespace Awareness* (am Boden und im Weltraum), defensiven und offensiven Gegenmaßnahmen, globalen Angriffsfähigkeiten und bodengestützter strategischer Abschreckung (*Land Based Strategic Deterrence (LBSD)*) liegen. Ergebnis soll der schnelle Erhalt entscheidender Ergebnisse auf oder über das Schlachtfeld sein – zu jeder Zeit und an jedem Ort [SMP03, S. 11]. Die Vervollständigung der LBSD sowie Analysen von Alternativen in der globalen Angriffsfähigkeit (*Prompt Global Strike Analysis of Alternatives*) sollen in der Wahl operationeller Optionen zur Anwendung von nicht-nuklearer Munition durch den Weltraum oder aus diesem heraus münden⁴². Diese Pläne dürften allerdings eher die Wunschvorstellungen der Weltraumenthusiasten beschreiben, als eine konkrete Weltraumstrategie darstellen.

3.1.3 Umsetzung

Bisher sind seitens der Bush-Administration keine unmittelbaren Maßnahmen hinsichtlich einer Bewaffnung des Weltraums vorgenommen worden. Eingeleitet worden sind allerdings zahlreiche Einzelmaßnahmen, die in diese Richtung deuten.

Die *Space Commission* hatte u.a. die Schaffung eines *Policy Coordinating Committee for Space* im Nationalen Sicherheitsrat (*National Security Council*) vorgeschlagen sowie eine Anzahl von weiteren organisatorischen Veränderungen an den Raumprogrammen angeregt. Seitdem ist das Verteidigungsministerium um eine Verschlinkung der Strukturen und eine Straffung der Planungs- und Entscheidungsabläufe bemüht.

Einer der ersten Schritte des Pentagon in diese Richtung war die Benennung des Direktors

⁴¹Hier verstanden als das Ergänzen oder Auffüllen von Weltrauminfrastruktur („*Responsive replenishment of space assets*“). [SMP03, S. 10]

⁴²„[...] should result in selecting operationally responsive options for applying force from or through space using non-nuclear munitions. [SMP03, S. 27]

des *National Reconnaissance Office (NRO)*, Peter Teets, als Verantwortlichen für die Beschaffung bei den Weltraumprogrammen. Außerdem wurden die Position eines *Deputy for Military Space* im NRO und die Schaffung eines *Directorate of National Security Space Integration* beschlossen. Zu den ersten Aufgaben des neuen Teams gehörte, verzögerte Beschaffungsprojekte, beispielsweise bei neuen Satelliten oder die Pläne für ein *Space Based Radar*, zu beschleunigen. Weitere Schritte wurden beschlossen, wie die Gründung einer *Space Warfare School*, in der die *527th Space Aggressor Squadron* und die *76th Space Control Squadron* aufgestellt wurden. Aufgabe dieser Einheiten soll es sein, US-Weltraumsysteme zu entwickeln und zu testen. Auf der *Schriever Air Force Base* wurde Anfang 2001 erstmals eine umfassende Kriegssimulation durchgeführt, bei welcher in einem Szenario 2017 auch der Konflikt mit Weltraumwaffen geführt wurde. Am 01. Oktober 2002 wurde das *US Space Command* in das *US Strategic Command* (das Kontroll- und Befehlszentrum der strategischen Streitkräfte) integriert, um damit der Bedeutung des Weltraums für die globale strategische Planung gerecht zu werden. Das USAFSC hat die *Space Analysis Division* als Exzellenzzentrum für Anforderungen im Bereich Modellierung, Simulation und Analyse (*Modeling, Simulation and Analysis (MS&A)*) gebildet. Geplant ist zudem die Errichtung einer *Space Test and Training Range (STTR)*, um die *Force Development Evaluation (FDE)*-Fähigkeiten für Gegenmaßnahmen (*Counterspace (CS)*) zu verbessern. FDE-Missionen sind Hauptaufgabe der *Space Warfare Center (SWC) 595th Space Group*, der *576th Flight Test Squadron*, der *17th Test Squadron* und der *Air Force Reserve Command's (AFRC) 14th Test Squadron*.

Hinsichtlich der Genehmigung von finanziellen Mitteln für die militärische Nutzung des Weltalls gestaltet es sich äußerst schwierig, konkrete Aussagen im Bezug auf eine Bewaffnung des Weltalls zu machen. Ca. die Hälfte aller Pentagon-Programme zum Weltraum sind geheim. Vielfach werden Ausgaben für solche Projekte als Sub-Projekte aufgeführt, bei denen die Verwendung nicht immer eindeutig ist. Zudem können entwickelte Technologien sowohl für den Einsatz auf der Erde, als auch im All genutzt werden (*dual use*). Nach einer Studie von Jeffrey Lewis zum Haushalt von Programmen mit einem möglichen Bezug zu Weltraumwaffen (*Space Weapon Related Programs in the FY 2005 Budget Request*) steigen die Ausgaben für derartige Programme [LC04].

Seit dem ersten in hohem Maß weltraumgestützten Krieg gegen den Irak 1991 wurde das Welt-raumbudget des DoD kontinuierlich hochgesetzt. Im Jahr 2003 lag es bei US\$ 18 Mrd., stieg für das Jahr 2004 auf US\$ 20,4 Mrd. und bis 2008 ist eine Erhöhung um US\$ 8 Mrd. auf US\$ 28,6 Mrd. geplant.[GAO04] Für das Haushaltsjahr 2006 werden für die offenen wie geheimen Weltraumprogramme des DoD US\$ 22,5 Mrd. veranschlagt. Diese Ausgaben sollen bis 2009 auf US\$ 25 Mrd. steigen.[Hit05].

Die anvisierte Erhöhung der Regierungsausgaben verdeutlicht den Stellenwert, den der Welt-raum als strategische Komponente moderner Kriegführung erreicht hat und die ihm künftig zugemessen wird. Die Erfahrungen aus den Kriegen im Irak (1991, 2003), dem Kosovo (1999) sowie in Afghanistan (2001) haben dazu nicht unerheblich beigetragen: „[Space became the] fourth dimension in national security operations together with air, ground, and sea operations.“ [So sagte US Secretary der Air Force, James G. Roche, Irakkrieg 2003, zitiert nach [Bat04, S. 38]]

Der von Präsident Bush jr. ausgerufene „Krieg gegen den Terrorismus“ rechtfertigt⁴³ auch die

⁴³Der Kampf gegen den Terrorismus als Legitimationsgrundlage für die Aufstockung des Budgets des Raketenabwehrprojektes ist nicht unumstritten: „The administration's top priority should instead be combating the threat of nuclear terrorism by increasing ist programs to keep nuclear warheads and materials out of the hands of terrorists. [...] The missile defense system being rushed into deployment is not relevant to the war on terrorism“ [UCS04]. Zudem bestehen grundsätzlich Zweifel an dessen Funktionsfähigkeit [GWLC04].

Erhöhung des Budgets für Raketenabwehrprogramme, welche ebenfalls eine inhärente ASAT-Fähigkeit besitzen (zur US-Raketenabwehr siehe Kapitel 3.4). Tabelle 3.6 gibt eine Übersicht zu den Budgets einiger Raketenabwehrprogramme. Hatte Präsident Clinton im Jahr 2000 noch

Programm	Budget 2004 [Mrd. US\$]	Budget 2005 [Mrd. US\$]	Änderung [%]
Ground-Based Midcourse system	2,90	3,20	+ 10
Aegis Sea-based system	0,665	1,07	+ 61
Patriot PAC-3	1,02	0,643	- 37
Airborne Laser	0,241	0,474	+ 97

Tabelle 3.6: Übersicht zu den Budgets einiger Raketenabwehrprogramme. [UCS04]

US\$ 4,5 Mrd. für das Haushaltsjahr 2001 gefordert, so stieg der von Präsident Bush jr. geforderte Etat für das Haushaltsjahr 2002 bereits auf US\$ 8,3 Mrd. Der Kongress bewilligte US\$ 7,8 Mrd., womit sich das Budget für Raketenabwehr für das Jahr 2002 im Gegensatz zum Vorjahr um 60% erhöhte. Für das Jahr 2003 bewilligte der Kongress Mittel in ähnlicher Höhe von US\$ 7,4 Mrd., die für das Jahr 2004 um weitere 23% relativ zum Vorjahr auf US\$ 9,1 Mrd. erhöht wurden. Die Etatanfrage für das Haushaltsjahr 2005 sieht einen weiteren Anstieg auf über US\$ 10 Mrd. vor. Bis 2007 werden für das Raketenabwehrprogramm etwa US\$ 55 Mrd. veranschlagt.[UCS04]

3.2 Pläne anderer Nationen

Bei der Diskussion um eine mögliche Bewaffnung des Weltraums werden allen voran die Pläne und Visionen der USA angeführt. Neben den USA haben aber auch eine Reihe weiterer Akteure Interesse am Weltraum.

Die russische Raumfahrt- und Weltraumtechnik fußt auf dem Erbe des umfassenden Weltraumprogramms der einstigen Sowjetunion, welche in der Vergangenheit gezeigt hat, dass sie die Fähigkeit zur Entwicklung von Weltraumwaffen besitzt (vgl. Kap. 2.2). Russland verfügt daher zumindest über erhebliches *Know-how*, der augenblickliche Status der damals existenten Anti-Satellitenwaffen ist jedoch unbekannt. Aufgrund des Zerfalls der UdSSR, dem Wegfall der privilegierten Förderung und der ökonomischen Krise hat die russische Weltraumfahrt erheblich an Schwung verloren. Trotz dieser Schwierigkeiten entwickelt Russland neue, auch militärische Trägersysteme und versucht durch das Angebot von Satelliten- und Trägerdiensten einen Teil seines Raumfahrtprogramms zu refinanzieren. Sowohl Europäer als auch Amerikaner bemühen sich im Rahmen von *Joint Ventures*, die als sehr zuverlässig geltenden russischen Trägersysteme in ihr eigenes Raketenprogramm einzubeziehen und zu vermarkten.

In jüngerer Vergangenheit engagierte sich Russland verstärkt um ein Abkommen gegen die Stationierung von Waffen im Weltraum (siehe Kapitel 3.3 und 5.3).

China als aufstrebende Weltraumnation wird im Kontext von Weltraumwaffen seitens des Pentagon insbesondere die Möglichkeit eines Interesses an der Entwicklung sogenannter parasitärer Kleinsatelliten (*parasitic microsatellites*) nachgesagt. Nach D. Wricht und G. Kulacki bezieht sich das Pentagon dabei allerdings auf einen Artikel einer Hong Kong'er Zeitung, welcher selbst auf recht fragwürdigen Angaben eines chinesischen Militärenthusiasten basiert. Auch J. Johnson-Freese äußerte sich in diesem Kontext sehr besorgt über die generelle Gründlichkeit bei der Prüfung von Quellen [Gra04].

China könnte zu einem starken Rivalen um die Führungsposition im Weltraum werden. Offen bleibt dabei allerdings die Frage, inwieweit sich eine solche Situation in verschärfte Rivalität oder einen Wettlauf im All ausdehnt, denn auch die USA sind laut der *Union of Concerned Scientists* auf die Kooperation mit den Partnern China und Russland auf dem Feld der Sicherheits- und Antiterrorismuspolitik angewiesen: „The United States needs Russian and Chinese cooperation on a range of non-proliferation and security issues. Getting that cooperation will be easier if the United States does not proceed with a missile defense program that Russia and China find potentially threatening. And China appears likely to build up its long-range nuclear arsenal in response to deployment of U.S. missile defenses.“ [UCS04]

Die bemannte Raumfahrt ist nach europäischer Auffassung zur Zeit der deutlichste Bereich, in dem ein „bisher friedlicher“ Wettlauf im Weltraum ausgetragen wird: „In the coming years, it is very likely that we will see China more and more at the leading edge of a new 'space race', which has recently been 're-launched' by the US President stating the objective of having man on Mars and beyond in the next decades. [...] The role of Europe between China and the USA could be key.“ [Bat04, S. 81]

China begreift sich als aufstrebende Weltraumnation und hat mit seinem ersten bemannten Weltraumflug unter Beweis gestellt, dass das Land sowohl über die technologischen Voraussetzungen für bemannte Weltraummissionen verfügt, als auch die Erschließung des Weltraums als Teil des nationalen Interesses und der Umsetzung der staatlichen Entwicklungsstrategie versteht.⁴⁴

US-Präsident Bush jr. reagierte mit seiner Marsinitiative vom 14. Januar 2004 auf den chinesischen Vorstoß und versprach neue Impulse für die bemannte Raumfahrt der USA. Tatsächlich ist das NASA-Programm der bemannten Raumfahrt aber in Frage gestellt [WH04c, RTF04, WH04a, WH04b, Ill04, MJ04].

China zeigt sich extrem besorgt über den Aufbau der amerikanischen Raketenabwehr und überlegt sich Maßnahmen für eine mögliche Reaktion, engagiert sich aber zugleich für ein Verbot von Weltraumwaffen (siehe auch Kapitel 5.3). China bevorzugt einen multilateralen Ansatz zur friedlichen, kooperativen Nutzung der Ressource Weltraum zum Nutzen der Menschheit: „The aim of international space cooperation is to peacefully develop and use space resources for the benefit of all mankind“; „Supporting multilateral international cooperation on the peaceful use of outer space within the framework of the United Nations.“ [CSP00, Abschnitt IV: International Cooperation]

China ist nicht der einzige Konkurrent der USA auf dem Weltraumsektor. Am 30. Oktober 2003 vereinbarten die Europäische Union (EU) und China die Kooperation beim EU-Satellitennavigationsprojekt Galileo, an dessen Aufbau sich China mit € 200 Mio. beteiligen wird.⁴⁵

Mit Galileo wird die EU ein Konkurrenzsystem zum amerikanischen Navigationssystem GPS anbieten, das hohe kommerzielle Gewinne verspricht und die EU im Krisenfall unabhängig vom Zugriff auf GPS-Daten macht. Die Gewinnerwartungen liegen bei jährlich € 10 Mrd., zudem wird die Schaffung von 140000 hochqualifizierten Arbeitsplätzen erwartet. [EU03c, S. 9] Die Daten des Satellitennavigationssystems Galileo werden sowohl kommerziell vermarktet, als auch im Krisenfall z.B. zur Dislokierung von Streitkräften und Zielbestimmung genutzt werden. Die Initiative zur zivil-militärischen (dualen) Nutzung von Satellitensystemen, dem Navigationssystem Galileo ebenso wie dem Erdbeobachtungsprogramm GMES (*Global Monitoring for the Environment and Security*), geht auf die Konkretisierung einer Europäischen

⁴⁴http://www.raumfahrer.net/multimedia/inSPACE/ausgaben/isrn_nl_098a.html (18.02.2003), vgl. auch [CSP00].

⁴⁵<http://europa.eu.int/rapid/pressReleasesAction> (16.03.2004).

Sicherheits- und Verteidigungspolitik (ESVP) zurück⁴⁶ [EU03c, EU03d, EU04]. Insbesondere nach dem Kosovokrieg 1999 und dem Irakkrieg 2003 sieht die EU die Notwendigkeit der Nutzung bzw. des Aufbaus eigener Weltraumkapazitäten, auch zu militärischen Zwecken.⁴⁷ Bestandteil der Galileo-Dienste wird ein verschlüsseltes Signal sein, das nicht kommerziell vermarktet wird (*Public Regulated Service (PRS)*). Zugriff werden ausgesuchte nationale und Institutionen der EU haben, vorstellbar sind Verteidigungsministerien und Polizeibehörden. Der Kreis der beteiligten Kooperationspartner wird eng beschränkt sein, so wird z.B. China keinen Zugang zum PRS-Signal erhalten. Die US-Regierung behält sich nach der Einigung mit der EU das Recht vor, das Galileo-Signal im Krisenfall zu stören. Darüber hinaus sieht sie die Kooperationsvereinbarung mit China äußerst skeptisch, da sie einen Transfer sensibler Technologien befürchtet. Neben China wird sich Israel an Galileo beteiligen, mit Russland, Brasilien, Indien, Japan und der Ukraine verhandelt die EU zur Zeit.⁴⁸

Über einen Aufbau offensiver militärischer Weltraumkapazitäten durch die EU über die duale Weltraumnutzung hinaus finden sich keine Anhaltspunkte. Zu einer Stellungnahme bezüglich der amerikanischen Pläne zur Weltraumbewaffnung konnte sich die Europäische Kommission aber nicht entscheiden. Die von der EU-Kommission vertretende Position hinsichtlich einer Europäischen Weltraumstrategie liegt in der Forderung nach freiem Zugang zum Weltraum: „The strategic pre-requisite to implement any space policy in the Union is that the EU must have and maintain independent access to space.“ [EU03d, S. 23], [EU03c, S. 8,9] Zu den Forderungen nach dem Entwurf einer Europäischen Weltraumstrategie und der dualen Nutzung von Weltrauminfrastrukturen vgl. auch [EU00a, EU02b, EU03a, EU00c, EU00b, IAI03, EU01, ESA03]. Bis Ende des Jahres 2004 will die *Joint Task Force* der Europäischen Kommission und der ESA eine Europäische Weltraumstrategie ausarbeiten. Die Kooperation zwischen EU und ESA wurde mit der Unterzeichnung des Rahmenabkommens im November 2003 auf die institutionelle Ebene gehoben. [EU03b]

Die Nutzung europäischer Satellitensysteme für die im Aufbauprozess befindliche gemeinsame Europäische Sicherheits- und Verteidigungspolitik wird sicher fortschreiten. Auf EU-Ebene wurde die „duale“ Bedeutung von Weltraum und Sicherheit klar erkannt: „Space has a security dimension and security has a space dimension.“ [EU03d, S. 16] Inwieweit die Pläne der EU langfristig zur Entwicklung eines militärischen Weltraumprogramms führen werden und ggf. welche Kapazitäten ein solches einbeziehen würde, ist noch unklar. Erste Überlegungen finden sich z.B. im *European Capabilities Action Plan* vom November 2002, das Dokument ist allerdings nicht öffentlich zugänglich. [Koh04]

⁴⁶ Zu Galileo und GMES vgl. auch [Gio04, Had04].

⁴⁷ Angestrebt ist die Bündelung einzelner nationaler Fähigkeiten zu einem gemeinsamen Europäischen System. Hierzu wurde von Belgien, Frankreich, Deutschland, Italien und Spanien ein Dokument zur Bestimmung des Bedarfs und der Finanzierbarkeit zukünftiger europäischer Systeme gezeichnet. Das unter seinem französischem Akronym „Besoin Operationelle Commun (BOC)“ bekannte Dokument umfasst nach dem Leiter des *French Defense Ministry space bureau*, General David Gavoy, nur einen Teil dessen, was Europa unbedingt besitzen sollte. Nach seiner Meinung könnte Europa durch die Investition von € 800 Mil. pro Jahr über einen Zeitraum von 15 Jahren breite weltraumgestützte Militärfähigkeiten aufbauen, die Telekommunikation, Beobachtung (*observation*), Signalaufklärung (*signal intelligence*), Raketenwarnung (*missile warning*) und Weltraumaufklärung (*space surveillance*) beinhalten könnte [dS02]. Mögliche zukünftige Herausforderungen und vorhandene Fähigkeiten behandelt auch [CHE03]. Eine verlässliche Aufklärung wird darin als essenziell bezeichnet, wenn eine zahlenmäßige Überlegenheit nicht sichergestellt werden kann. Der Bericht erwähnt ebenfalls Programme zur Unterstützung von Streitkräfte verstärkenden Effekten, wobei auch Aufklärung mittels Satelliten genannt wird: „Programs are underway [...] to supply force multiplying effects my means of the full integration of assets from satellite surveillance down to the front line soldier.“ [CHE03, S. 174].

⁴⁸ Auf dem Gipfeltreffen der EU-Staats- und Regierungschefs im Juni 2004 in Dublin legten die Vertreter der EU und der USA ihren Streit bzgl. Galileo bei und unterzeichneten ein Kooperationsabkommen. [<http://www.nzz.ch/servlets/ch.nzz.newzz.DruckformatServlet?url=/2004/06/28/al/article9OZD1.nzzoml>; [EU03d, S. 18]

Entgegen den US-amerikanischen Plänen zur Weltraumbewaffnung positioniert sich das Europäische Parlament in seiner Resolution vom 17. Januar 2002 und fordert die „Nutzung des Weltraum zu friedlichen Zwecken“ sowie die Verhinderung eines Rüstungswettlaufs im Weltraum: „[...] space activities should be intended only for peaceful purposes, which may include military applications for peacekeeping operations; [...] the EU needs to state clearly that the exploitation and use of outer space should be carried out for peaceful purposes only and in the interests of mankind; [...] the non-proliferation of arms and avoiding an arms race in outer space should form the guiding principle of the EU’s space policy.“ [EU02a]

Die EU wird den erdnahen Raum im Rahmen ihrer ESVP stärker sicherheitspolitisch und damit auch militärisch nutzen. Die Debatte um künftige WRW hat jedoch auch in Europa begonnen. Votierte das Europaparlament noch in einer Resolution eindeutig gegen eine „Bewaffnung des Weltraums“, so erklärte ein WEU-Vertreter am 8. Dezember 2004: „Der Trend geht in Richtung einer Bewaffnung des Weltraums und die EU muss darauf vorbereitet sein.“⁴⁹

3.3 Reaktionen auf die Pläne der US-Administration

Aussagen und Pläne der sich seit Januar 2001 im Amt befindlichen Bush-II-Administration sind eindeutig auf die Möglichkeit des Aufbaus einer aktiven Weltraumbewaffnung gerichtet. Die beschriebenen Maßnahmen zeigen, dass durch die Bush-II-Administration die Weichen für eine künftige Bewaffnung des Weltraums gestellt wurden. Das größte Hindernis, der ABM-Vertrag, wurde am 13.12.2001 gekündigt und ist seit Juni 2002 obsolet. Allerdings wurden bisher weder in planerischer noch in technischer Hinsicht Stationierungsentscheidungen getroffen.

Es mehren sich jedoch die Stimmen, die sich über eine militärische Nutzung des Weltraums besorgt zeigen, weil sie ein Wettrüsten im All befürchten. Dies geschieht sowohl von Seiten der amerikanischen Opposition, als auch von anderen Staaten und Nichtregierungsorganisationen (*Non-Governmental Organisations (NGO’s)*).

Der demokratische Mehrheitsführer im Kongress, Tom Daschle, kommentierte die Frage, wie er die Ideen von Verteidigungsminister Rumsfeld für eine Weltraumbewaffnung sehe, mit den Worten: „I think putting weapons in space may be the single dumbest thing I’ve heard so far from this administration [...] It only invites other countries to do the same thing and opens up a whole new array of challenges and threats to national security, the likes of which this administration hasn’t even begun to think about“.⁵⁰ Durch den demokratischen Kongressabgeordneten David Kucinich ist außerdem der Erlass eines *Space Preservation Act* angeregt worden (siehe auch Kap. 5.3).

Auf internationaler Ebene hat sich 2001 der russische Außenminister Igor Ivanov für ein Moratorium ausgesprochen, dass ein einvernehmliches Abkommen gegen eine Stationierung von Waffen im All zu gewalttätigen Zwecken beinhalten sollte. Auch China hat sich sehr stark für ein solches Abkommen eingesetzt. Besonders aktiv in diesem Bereich hat sich auch Kanada gezeigt, das bereits 1998 die Einrichtung eines ad-hoc Komitees vorgeschlagen hat, um eine Aufrüstung des Weltalls zu verhindern. Frankreich und Deutschland haben ihre Besorgnis geäußert.[AD02, S. 108-109]

In den USA wurden zahlreiche NGO’s gegründet, die durch Petitionen und Demonstrationen größere Aufmerksamkeit von Politik und Gesellschaft für dieses weitestgehend vernachlässigte Thema schaffen wollen. Zu weiteren Bestrebungen beispielsweise hinsichtlich der Ausarbeitung von Vertragsvorschlägen und Konzepten zu vertrauensbildenden Maßnahmen siehe Kapitel 5.3.

⁴⁹Siehe Fußnote 3 in Kap. 1.

⁵⁰Senator Thomas Daschle (D-SD), Washington, 5.8.2001, www.truthout.org/docs_01/0197.Daschle.Budget.htm.

3.4 Raketenabwehrprogramme in den USA

Das Abfangen von Trägersystemen ist bereits seit den 60er Jahren unter der Bezeichnung *Missile Defense*⁵¹ Bestandteil von Forschung und Entwicklung in den USA.⁵² Durch Raketenabwehrsysteme sollen gegen die USA gerichtete Langstreckenraketen⁵³ derart bekämpft werden, dass ein Erreichen von US-amerikanischem Festland für die Raketen bzw. deren Nutzlasten nach Möglichkeit verhindert wird.

Aus der Sicht einer Raketenverteidigung sollte die angreifende Rakete nach Möglichkeit direkt während deren Startphase (*Boost-phase*) oder in der Freiflugphase (*Midcourse*) attackiert werden. Die nutzbaren Abfangtechnologien⁵⁴ zur Zerstörung des Zielkörpers in der Freiflugphase müssen entweder mit Raketen in den Weltraum transportiert werden oder dort bereits stationiert sein. Das Konzept der Raketenabwehr ist somit eng verbunden mit der Problematik von Weltraumwaffen.

Bereits 1983 hatte Präsident Reagan die *Strategic Defense Initiative (SDI)* propagiert. Deren Ziel war die Entwicklung einer kontinentalen Weltraumverteidigung gegen strategische Raketen vorzugsweise durch Technologien wie weltraumgestützte Laser- und andere Strahlenwaffen. Seriöse Analysen zeigten jedoch, dass eine effektive Abwehr durch solche Technologien unter zumutbaren Kosten nicht erreichbar war [BPA⁺87].

Unter der ersten Bush-Administration wurde neben einer nationalen Raketenabwehr („*Brilliant Pebbles*“) auch eine Abwehr von taktischen Raketen ins Gespräch gebracht (*Theater Missile Defense (TMD)*), siehe dazu [AKL⁺92].

In der Clinton-Administration 1993 wurde zu Beginn Wert auf die umgehende Stationierung vorhandener Technologien zum Schutz kleinerer Gebiete auch außerhalb der USA gelegt. US\$ 12 Mrd. wurden in den Haushaltsjahren 1995 bis 1999 für diverse TMD-Programme veranschlagt, beispielsweise sollte das im Golf-Krieg 1991 eingesetzte Raketenabwehrsystem PATRIOT verbessert werden und die Navy arbeitete an der Einbeziehung eines TMD-Systems geringerer Reichweite („*Navy Area Wide*“⁵⁵). Es befand sich auch eine Flächenverteidigung in der Entwicklung, welche ausschließlich zur Abwehr ballistischer Interkontinentalraketen gebaut werden sollte. Das *Theater High Altitude Area Defense (THAAD) System* erlaubt einen Abfangvorgang innerhalb und außerhalb der Atmosphäre gegen anfliegende Kurz- oder Mittelstreckenraketen. Ähnliches gilt für das Abwehrsystem *Navy Theater Wide (NTW)*. TMD-Systeme konzentrieren beim Abfang auf die Spätphase (*Terminal phase*) einer ballistischen Flugbahn eines Sprengkopfes.

Abgesehen von dem Patriot-System, das insbesondere gegen Kurzstreckenraketen in der Endphase eingesetzt wird, wurden unter Clinton keine MD-Systeme stationiert. Eine endgültige Entscheidung bezüglich der Einführung einer „Nationalen Raketenabwehr“ wurde ausgesetzt.

3.4.1 Die Neudefinition der Ziele von BMD unter der Bush-II-Administration

Bereits zu Beginn seiner Amtszeit hatte Präsident George W. Bush eine „neue Politik“ hinsichtlich einer Strategie gegen die Bedrohung durch Massenvernichtungswaffen angekündigt.

⁵¹Gebräuchlich sind mehrere Begriffe wie *Anti-Ballistic Missile (ABM) Defense* oder *Ballistic Missile Defense (BMD)*. BMD umfasst sowohl *National Missile Defense (NMD)* wie auch *Theater Missile Defense (TMD)*.

⁵²Eine politische Rückschau gibt z.B. [GJKW01].

⁵³Langstreckenraketen erreichen entlang ihrer ballistischen Flugbahnen Höhen von 500km bis 2800km, folglich liegt ein Großteil ihrer Flugbahn im Weltraum. Siehe z.B. [BPA⁺87, S.24].

⁵⁴Denkbar sind z.B. nukleare oder konventionelle Sprengkörper, *Kill vehicle* oder Strahlenwaffen.

⁵⁵Das Programm wurde aufgrund zu hoher Kosten und zu geringer Leistungen Ende 2002 eingestellt.

Bestandteil dieser sollten „aktive Nichtverbreitung, *Counter-Proliferation* und Verteidigung“ sein und durch Systeme zur Raketenabwehr sollte verschiedenen Bedrohungen entgegengetreten werden können, auch außerhalb der Rahmenbedingungen des ABM-Vertrages (*Anti Ballistic Missile Treaty*) [WH01]. Angestrebt wird eine neue Art der Abschreckung, die aus defensiven und offensiven Elementen besteht. Auch Verteidigungsminister Donald Rumsfeld plädierte zum Schutz vor Raketen, Terrorismus und Informationskriegsführung für neue Abschreckungs- und Verteidigungsfähigkeiten, beispielsweise den Schutz vor den Waffen potenzieller Gegner durch einen funktionstüchtigen „Raketenschirm“. [Rum01].

Mittlerweile hat die Bush-II-Administration eine umfassende Reform der US-Streitkräfte eingeleitet und diverse strategische Grundlagendokumente wurden und werden überarbeitet. Die Planungen gehen nicht mehr von einer aktuellen Einschätzung der Bedrohung im Sinne real abschätzbarer Potentiale und Intentionen wahrscheinlicher Gegner (*threat based approach*) aus, sondern von möglichen Fähigkeiten von Streitkräften (*capability based approach*). Im Vordergrund stehen die Verteidigung des US-Territoriums („*Homeland Defense*“), der Schutz von Truppen und kritischer Infrastruktur auch im Ausland sowie der Streitkräftewandel, einhergehend mit dem Ausbau von Fähigkeiten im Weltraum. Dabei ist mit der langfristig angestrebten globalen Raketenabwehr (*Global Missile Defense (GMD)*) das Ziel verbunden, jede zukünftig denkbare auf ballistischen Raketen beruhende Bedrohung der USA oder US-amerikanischer Interessen nach Möglichkeit auszuschließen. Um ein solches Ziel zu erreichen, hat die Bush-II-Administration die Anforderungen an das zu entwickelnde Raketenabwehrsystem erheblich höher angesetzt als dies die Clinton-Regierung getan hat. D.h. die Realisierbarkeit der Raketenabwehr, sofern sie denn überhaupt möglich ist, ist deutlich schwieriger und kostenintensiver.

3.4.2 Umstrukturierung der Raketenabwehrprogramme: Von NMD zu „Global Missile Defense“

Die neue Sicherheitsdoktrin der Bush-II-Administration hat für den Bereich der Raketenabwehr zu einer Umstrukturierung der bestehenden BMD-Programme geführt. Folgende Ziele sind hinzugetreten und implizieren eine Ausweitung der BMD-Aktivitäten:

- Globales System (inkl. See und Weltraum),
- Einbeziehung der Alliierten und Freunde,
- Mehrschichtsystem,
- Verstärkte Forschung, Entwicklung und Tests,
- Aufbau einer *Emergency Defense* schon 2004/2005.

Bezüglich der Überführung der BMD-Komponenten aus der Clinton-Administration mit dem Schwerpunkt NMD in das neue Mehrschichtsystem unter George W. Bush (auch *Global Missile Defense* genannt), wurden die bisherigen Programme unter Federführung der *Missile Defense Agency (MDA)* im Rahmen des so genannten *Transition Plan* in die vier Segmente 1) *Boost Segment*, 2) *Midcourse Segment*, 3) *Terminal Segment* und 4) *Sensor Segment* subsumiert. Bei den ersten drei Segmenten handelt es sich um Programmelemente, die sich auf die verschiedenen Abfangphasen (Start-, Mittelflug-, Endanflugphase) von ballistischen Raketen beziehen. Diese bilden zusammen mit einem ständig auszubauenden Netzwerk von Sensoren (z.B. Satelliten und land- wie seegestützte Radars) eine gemeinsame Mehrschichtarchitektur. Letztendliches Ziel ist es, sowohl US-amerikanisches Territorium, als auch amerikanische Truppen und deren

Verbündete überall auf der Welt vor Angriffen mit ballistischen Raketen schützen zu können. Die folgende Tabelle 3.7 gibt eine Zusammenfassung der Überführung der BMD-Komponenten.

Segmente	Kategorien	Einzelprojekte aus der Clinton-Administration
Boost	Air-Based Boost	Airborne Laser
	Sea-Based Boost	Neue Entwicklung
	Space-Based Boost	Space Laser Experiment/Space Based Laser
Midcourse	Ground-Based Midcourse	NMD
	Sea-Based Midcourse	Navy Theater Wide
Terminal	Ground-Based Terminal	THAAD, ARROW
Sensor	Ground/Sea-Based Radars	X-Band (Shemya), Aegis
	Space-Based Sensors	SBIRS Low
	Int. Cooperation	RAMOS

Tabelle 3.7: Die Neustrukturierung der BMD-Programme seit 2002. Die nicht in der Tabelle genannten Programmelemente MEADS und PAC-3 richten sich nicht gegen Interkontinentalraketen, sind aus dem MDA-Budget ausgegliedert und werden direkt durch die US-Army vorangetrieben.

Insgesamt sind die Aktivitäten im Bereich *Missile Defense* seit Beginn der Amtszeit von George W. Bush erheblich ausgeweitet worden. Während der noch unter Clinton verabschiedete Haushalt für 2001 Zuweisungen für BMD-Programme in einer Gesamthöhe von etwa US\$ 4,8 Mrd. vorsah, steigerte sich diese Summe auf US\$ 7,8 Mrd. für das Jahr 2002, US\$ 7,4 Mrd. für das Jahr 2003 bis auf US\$ 9,1 Mrd. für das Jahr 2004. Für den Haushalt 2005 belaufen sich die Planungen der Administration auf zusammen über US\$ 10 Mrd.

3.4.3 Technologische Umsetzung der mehrschichtigen „Global Missile Defense“

Für das angestrebte mehrschichtige Raketenabwehrsystem wurden eine Vielzahl von Tests durchgeführt und weitere sind geplant. *Sea Based Midcourse*- und *Boost*-Komponente haben zwar eine Aufwertung erfahren, allerdings soll das bisherige Testprogramm für das *Ground-Based Midcourse Defense System* weiterhin den Kern des mehrschichtigen Abwehrkonzeptes bilden. Die bisher erfolgten Tests fanden unter recht eingeschränkten Bedingungen statt. Durch z.T. einen Test vereinfachende Hilfestellungen wie stark verschiedene Signaturen zwischen Sprengkopf und Attrappe oder unterstützende Maßnahmen bei der Zielfindung entsprechen diese mehr experimentellem Laborcharakter denn der Simulation einer realen Bedrohung. Zu einem ähnlichen Schluss kam bereits der zur Überprüfung des Vorgängerprogramms „NMD“ erstellte „*Coyle-Report*“ aus dem Jahr 2000 [Coy00]. Seit dem hat sich die Testpraxis nicht prinzipiell verändert [HS03b], die genauen Testbedingungen unterliegen jedoch zunehmend der Geheimhaltung [GL02].

Bisher werden fünf der acht Abfangtests für die *Ground-Based Midcourse Defense* als erfolgreich gewertet, wobei einige Tests eine Wiederholung vorangegangener Tests darstellen (siehe auch Tabelle 3.8). Mit Blick auf die Erfolgsquote kritisch anzumerken ist, dass nicht alle Teile des Systems in die Tests einbezogen wurden und die bisherigen Tests keinen Rückschluss auf eine erfolgreiche Umsetzung des Raketenabwehrkonzeptes zulassen. Beispielsweise wird bisher eine Rakete zum Start des Interzeptors verwendet, die deutlich kleiner ist, als für das endgültige

Datum	Test-Nr.	Anmerkungen
Jun. 97	IFT-1A	Erster Flug- und Sensortest des NMD-Programms, bei dem ein Sprengkopf, eine Raketenstufe und acht Atrappen beobachtet wurden. Die beiden Atrappen, die dem Sprengkopf ähnlich sahen, entfalteten sich nicht. Getestet wurde das später nicht verwendete Boeing-EKV.
Jan. 98	IFT-2	Zweiter Flug- und Sensortest des NMD-Programms, in gleicher Anordnung wie IFT-1A, allerdings mit dem Raytheon-EKV.
2. Okt. 99	IFT-3	Ursprünglich für Juni 99 angesetzt, mehrfach verschobener NMD-Abfangtest bei dem ein Sprengkopf getroffen wurde, wobei der Sensor des <i>kill vehicles</i> diesen zunächst nicht lokalisieren konnte und erst durch die mitfliegenden Atrappen in die richtige Richtung gewiesen wurde.
18. Jan. 00	IFT-4	Zweiter NMD-Abfangtest. Ein Fehler der Infrarotsensoren des <i>kill vehicles</i> verhinderte den Abfangvorgang. Im Gegensatz zur ursprünglichen Planung wurde nur eine Atrappe verwendet.
8. Jul. 00	IFT-5	Dritter NMD-Abfangtest, Fehlschlag, das <i>kill vehicle</i> trennte sich nicht von der Booster-Rakete. Die einzige verwendete Atrappe entfaltete sich nicht.
14. Jul. 01	IFT-6	Um mehrere Monate verzögerter Abfangtest in gleicher Anordnung wie IFT-5, bei dem ein Sprengkopf getroffen wurde.
3. Dez. 01	IFT-7	Erfolgreicher Abfangtest, gleiche Anordnung wie IFT-5 und IFT-6.
15. Mär. 02	IFT-8	Erfolgreicher Abfangtest mit drei Atrappen mit deutlich anderer IR-Signatur als der Sprengkopf.
14. Okt. 02	IFT-9	Ursprünglich für August geplanter erfolgreicher Abfangtest. Die Atrappenkonstellation wurde geheim gehalten.
11. Dez. 02	IFT-10	Erster nächtlicher Abfangtest. Fehlschlag, da sich das <i>kill vehicle</i> nicht von der Booster-Rakete trennte.
gestrichen	IFT-11	Die Streichung der Tests IFT-11 und 12 veranlaßte das General Accounting Office zu der Warnung, die MDA sei „in danger of getting off track early and impairing the effort over the longterm“
gestrichen	IFT-12	s. IFT-11
16. Aug. 03	IFT-13a	Dieser ursprünglich als Abfangtest geplante Test wurde in einen Flugtest für den Raketenbooster umgewandelt.
26. Jan. 04	IFT-13b	Weiterer Test des Raketenboosters.

Tabelle 3.8: Übersicht zu den Tests des Ground Based Midcourse Systems. Die Zusammenstellung basiert auf Arbeiten von George Lewis, MIT Security Studies Program und der Union of Concerned Scientists (UCS) [http://www.ucsusa.org/global_security/missile_defense/page.cfm?pageID=600] sowie von Victoria Samson, Center for Defense Information [<http://www.cdi.org/missile-defense/gmd-testing.pdf>].

Es bezeichnen IFT: Integrated Flight Test; EKV: Exoatmospheric kill vehicle.

System geplant. Eine stärkere Rakete wird notwendig sein, weil der Abfangkörper unter operationellen Bedingungen erheblich größere Strecken zurücklegen müssen als in den bisherigen Tests. Damit einher geht, im Vergleich zu den bisherigen Tests, eine größere Annäherungsgeschwindigkeit zwischen Interzeptor und abzufangendem Sprengkopf, so dass sich die vom Sen-

vor zur Detektion des Sprengkopfes zur Verfügung stehende Zeit deutlich verringert. Weiterhin steht das geplante X-Band-Radar nicht zur Verfügung, welches die Abfangkörper leiten soll, bis deren eigene Sensoren das Ziel erfassen können. Der Mangel an adäquaten vorhandenen Radar-Alternativen führte letztendlich dazu, dass in den bisherigen Tests die Flugbahn des abzufangenden Sprengkopfes dem Abfangteam schon von vornherein bekannt war und die Abfangrakete auf den vorausberechneten Kollisionskurs geleitet werden konnte. Insgesamt galt, dass ausschließlich „kooperative Ziele“ verwendet wurden, d.h. das Abfangteam kannte Flugbahn, Angriffszeit, die physikalischen Eigenschaften und die Zahl der Testkörper – eine dem Gelingen eines Abfangtests entgegenkommende Rahmenbedingung.

Auch andere Randbedingungen bei den durchgeführten Tests bewirkten eine nur begrenzte Simulation realer Bedingungen. Viele der durchgeführten Tests glichen sich bezüglich der Anordnung der verwendeten Attrappen, der Flugbahn, der Wetterbedingungen und der Tageszeit (Sonnenstand) – nur ein Test fand bisher bei Nacht statt. Die Infrarotsignatur der verwendeten Attrappen war vorher bekannt und klar vom Sprengkopf zu unterscheiden. Zudem flogen Sprengkopf und Attrappen sehr nah beieinander, was den nur über ein kleines Gesichtsfeld verfügenden Sensoren des *kill vehicles* bei der Unterscheidung zwischen diesen entgegenkam.

In den Testserien wurden aktive Gegenmaßnahmen seitens eines Gegners bisher kaum berücksichtigt. Beim Trennen des Sprengkopfes von der Trägerstufe könnten neben dem eigentlichen Sprengkopf diverse Attrappen und Täuschkörper freigesetzt werden. Bereits mit einfachen Mitteln bieten sich verschiedene Optionen, die mit den wenigen in den Tests verwendeten Attrappen kaum angedeutet werden, so z.B. das Verbergen eines Gefechtskopfs in Radarstrahlen reflektierenden Wolken von Metallstreifen, die Überforderung des Abwehrsystems durch den Einsatz von Submunition oder zahlreichen Täuschkörpern sowie die Methode der Anti-Simulation, d.h. das Tarnen eines Gefechtskopfs als Attrappe, indem er in einen großen Ballon eingeschlossen wird. All diese Gegenmaßnahmen können von jedem Land installiert werden, welches ballistische Raketen mit großer Reichweite bauen oder ggf. kaufen kann. Russland, China, Großbritannien und Frankreich haben bereits früh verschiedene Gegenmaßnahmen entwickelt und in ihre Langstreckenraketen eingebaut. Auch technisch weniger weit entwickelte Staaten wären in der Lage, mit der ersten Generation von Langstreckenraketen effektive Gegenmaßnahmen zu stationieren. Die Annahme, dass nach einer mit gewaltigem Aufwand betriebenen Entwicklung einer Interkontinentalrakete nicht auch auf einfach zugänglichen Technologien beruhende Gegenmaßnahmen installiert werden, ist wenig plausibel. Diese einfache Erkenntnis bestätigt sich auch in den jährlichen Bedrohungsanalysen der US-Geheimdienste [NIE99].

Beim *Sea-Based Midcourse System (Aegis Ballistic Missile Defense*, früher „*Navy Theater Wide*“) waren bisher vier von fünf Abfangversuchen erfolgreich. Das System wurde bisher gegen Raketen in der Startphase getestet, d.h. gegen nicht von der Rakete getrennte Sprengköpfe und somit größere Ziele. Bereits bei derartigen Tests hat das System lediglich gewisse Fähigkeiten gegen Kurz- und Mittelstreckenraketen bewiesen. Um als Boost-Phase-System gegen Interkontinentalraketen einsetzbar zu sein, wäre ein erheblich leistungsfähigerer und damit auch größerer Träger für den Abfangkörper notwendig. Dieser würde zugleich eine Integration in die bestehenden Abschussrampen der Standard-Raketen-Systeme an Bord von Aegis-Kreuzern unmöglich machen. Insofern ist fraglich, ob dieses System jemals eine Rolle in einer mehrschichtigen globalen Raketenabwehr gegen Interkontinentalraketen spielen kann.

Das dritte System mit durchlaufenen Tests ist das *Theater High-Altitude Area Defense (THAAD)* System⁵⁶. Das Programm wurde 1999 ausgesetzt und umstrukturiert, nachdem sechs von acht Tests fehlgeschlagen waren. Zur Zeit sind bis zum Jahr 2009 weitere 16 Tests ange-

⁵⁶Eine Einführung in die Raketenabwehr sowie ein Überblick u.a. zu den Systemen THAAD und PAC-3 findet sich z.B. in [SB03].

setzt. Die Rolle dieses Systems ist unklar. Ursprünglich wollte die *Missile Defense Agency (MDA)* 2007 über die Produktion der Abfangraketen entscheiden. Inzwischen finden sich auch Andeutungen, dass THAAD bereits 2005 operationelle Fähigkeiten im Rahmen der *emergency capability* haben soll – wie ein solches Vorhaben zu erreichen sein soll, ist allerdings offen.

Weitere Systeme im Rahmen des Raketenabwehrprogramms, wie der *Airborne Laser (ABL)*, das *Boost Phase Interceptor Program* oder weltraumgestützte Laser und Interzeptoren, sind noch weit von jeglicher Art von Abfangtest entfernt. Das *Patriot Advanced Capability-3 System (PAC-3)* sowie das gemeinsam mit europäischen Partnern betriebene MEADS-Programm⁵⁷ spielen als Punktverteidigungssystem gegen Kurz- und Mittelstreckenraketen keine Rolle bei der Abwehr von Interkontinentalraketen im Rahmen der *Global Missile Defense*.

3.4.4 Schwerpunkt „Emergency Defense“

Ein Schwerpunkt von Aktivitäten der Bush-Administration in 2004 liegt auf dem Aufbau einer sogenannten *Emergency Defense*, d.h. der Stationierung lediglich eines Teils des geplanten Raketenabwehrsystems. Das System soll einen ersten Schutz gegen Angriffe mit einzelnen Interkontinentalraketen aus Nord-Korea und dem Mittleren Osten bieten.

Die *Emergency Defense* soll in zwei Phasen, „Block 2004“ und „Block 2006“, erstellt werden. Block 2004 umfasst die Jahre 2004 und 2005, Aktivitäten ab dem Jahr 2006 zählen zum Block 2006. Im Rahmen von Block 2004 sollen bis Ende des Jahres 2004 die ersten zehn Abfangraketen in Betrieb genommen werden, gefolgt von der Stationierung weiterer zehn Interzeptoren bis Ende 2005. Verzichtet wird gegenüber den Planungen aus der Zeit der Clinton-Administration auf ein hochauflösendes X-Band Radar. Bestehende Frühwarnradars sollen stattdessen aufgerüstet werden. Genauere Planungen für die zweite Phase sind bisher nicht bekannt.

Kritische Stimmen bemerken einen Widerspruch zwischen der vorgegebenen Intention eines Schutzes gegenüber Raketen aus Richtung des Nahen Ostens kommend und der bisherigen räumlichen Ausrichtung der Frühwarnradars, da sämtliche in die Planung einbezogenen Frühwarnradars in Richtung Russland und China ausgerichtet sind. Kritisch mit Blick auf den angestrebten Zeitrahmen ist auch zu sehen, dass keiner der Staaten im Mittleren Osten so kurzfristig zu einem Angriff auf die USA mit Interkontinentalraketen in der Lage wäre. Auch bezüglich eines hypothetischen Angriffs aus Nord-Korea ist nicht von einer nennenswerten Abwehrfähigkeit des Systems auszugehen, wie Analysen unabhängiger amerikanischer Wissenschaftler zeigen [GWLC04]. Auch bezüglich der Operationalität des Systems finden sich gegensätzliche Standpunkte. Neben Aussagen, es handele sich um ein operatives System, wird die Finanzierung ansprechenden Kritikern mit der Aussage begegnet, es handele sich um ein Testsystem, das operative Tests erst ermöglichen solle. Tatsächlich umfassen die Planungen der nächsten Jahre jedoch keinerlei operative Tests unter realistischen Bedingungen, wie der für solche militärischen Tests zuständige T. Christie, *Director, Operational Testing and Evaluation*, gegenüber dem Senat erklärte [Chr04].

3.4.5 Politische Implikationen der Raketenabwehr

Die Bush-Administration gibt keine direkten Maßstäbe vor, an denen die Zweckmäßigkeit bestimmter BMD-Programme zu messen wäre. Der Schritt hin zu einem fähigkeitsbasierten Ansatz im Wandel der US-Streitkräfte rückt potenzielle und weniger reale Akteure in die Wahrnehmung von Bedrohungen. Die Rechtfertigung von Programmen lässt sich dadurch in der Regel

⁵⁷Zum Mittleren Erweiterten Luftverteidigungssystem MEADS siehe z.B. [Gra03].

flexibler gestalten und erleichtert die Finanzierung und Umsetzung vorhandener oder möglicher militärischer Fähigkeiten.

Das Vorantreiben der Raketenabwehr ohne klare Zielvorgaben und Erfolgskriterien macht ihre Entwicklung unkontrollierbar und von den Kosten her nicht absehbar. Die Zielsetzungen wurden hoch gesteckt und der Zeitplan verkürzt. Gleichzeitig machen die bisherigen Tests aber immer deutlicher, dass die technologischen Schwierigkeiten bei weitem nicht überwunden sind. Diese werden auch mit den geplanten Tests der kommenden Jahre nicht überwunden und lassen die mittelfristige Realisierung eines globalen Abwehrsystems gegen einen massiveren Angriff mit Interkontinentalraketen/Attrappen grundsätzlich ausgeschlossen erscheinen.

Während unter Präsident Clinton noch vier Kriterien⁵⁸ für die Entscheidung über das NMD-System benannt wurden, sollen unter Präsident Bush jr. offensichtlich sämtliche BMD-Anstrengungen unabhängig von den politischen und technologischen Rahmenbedingungen weitergeführt werden. Es steht zu befürchten, dass weniger die unmittelbare militärische Nützlichkeit der Programme im Vordergrund steht, sondern vielmehr die strategisch-diplomatische und machtpolitische Bedeutung. Angestrebt sein könnte dann, die Wahrnehmung der USA als unverwundbare Supermacht weiter zu festigen und Akteure von vornherein davon abzubringen, sich mit den USA – politisch und wirtschaftlich – messen zu wollen. Damit wäre die Neuausrichtung der BMD-Programme als Teil eines Paradigmenwechsels US-amerikanischer Außenpolitik zu verstehen, welcher die globale Führungsrolle der USA – militärisch-präventiv und unter Verzicht auf bestehende Rüstungskontrollregime und internationale Stabilität – sichern und ausbauen will.

Folge einer solchen Politik wird sein, dass von den USA als potenzielle Gegner gesehene Akteure ermuntert werden, weiter und verstärkt auf die Entwicklung von Nuklearwaffen und Trägerraketen, aber auch auf die Erschließung von Fähigkeiten im Weltraum zu setzen.

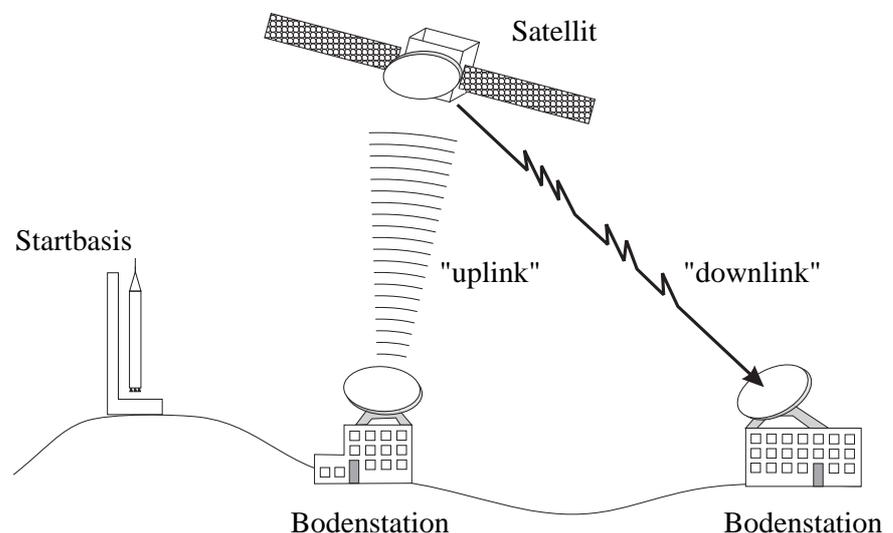
⁵⁸Genannt wurden 1) Bedrohung der USA mit ballistischen Raketen, 2) Auswirkungen von NMD für die internationalen Beziehungen und die Rüstungskontrolle, 3) Kosten des Programms und 4) technologische Machbarkeit.

4 Weltrauminfrastruktur und Weltraumwaffen

4.1 Weltrauminfrastruktur und Verwundbarkeit von Satelliten

Ein Zerstören, Stören oder Deaktivieren eines Weltraumsystems bedeutet nicht notwendigerweise das „Abschießen eines im Orbit befindlichen Satelliten“. Die Verwundbarkeit von Satelliten (bzw. das Funktionieren von Satellitensystemen/-diensten) ist durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst und dementsprechend sind verschiedene Bedrohungsszenarien denkbar. Die Weltrauminfrastruktur besteht prinzipiell nicht nur aus Satelliten. Vielmehr erfordert das Betreiben von Satelliten auch Kapazitäten für den Start von Satelliten oder Raumfahrzeugen für Wartungszwecke oder Möglichkeiten zur Kontrolle des bzw. der Kommunikation mit dem Satelliten (vgl. Abb.4.1). Dies umfasst sowohl große Bodenstationen mit der Möglichkeit der Übertragung von Daten hin zum Satelliten (Kontrollzentren von Betreibern) als auch kleine Geräte zum Empfang von Satellitendaten und den dadurch gegebenen Satellitendiensten (z.B. GPS-Navigation). Ein Angriff gegen die Weltrauminfrastruktur muss also nicht unbedingt eine Intention zur di-

Abbildung 4.1: Satelliten und ihre Bodenkomponenten (Skizze). Zur näheren Erläuterung siehe Text.



rekten Zerstörung eines Satelliten bedeuten, sondern kann sich beispielsweise auch gegen eine Bodenkontrollstation richten⁵⁹.

[JAV01] nennen in ihrer für das amerikanische Verkehrsministerium erstellten Studie zur Verwundbarkeit von auf dem GPS-System fußenden Transportwesen neben nicht intendierten auch mögliche intendierte Ursachen für Störungen bzw. Ausfälle des GPS-Systems. Neben einem Satellitenabschuss⁶⁰ nennt die Studie als intendierte Ursachen auch das gezielte Stören von GPS-

⁵⁹Besonders terroristische Gewalttäter könnten hier attraktive Ziele mit hoher symbolischer Wirkung sehen.

⁶⁰Dabei beziehen sich die Autoren auf den Bericht der sog. *Space Commission* [SC01].

Empfängern durch Emission von Radiostrahlung hinreichender Energie u. Frequenz⁶¹ (*jamming*) oder die Manipulation/Verschleierung von Daten durch Verwendung falscher – aber legitim erscheinender – Signale sowie durch Aussenden von verzögerten Signalen (im Bericht mit *spoofing and meaconing* benannt).

Unter Bezug auf u.a. nicht freigegebene Dokumente⁶² nennt das USAFSPC als mögliche offensive Fähigkeiten von potenziellen Gegnern „Leugnen und Täuschen“, Attacken auf Bodenstationen und Sabotage, elektronische Attacken und den direkten Angriff auf Satelliten selbst [SMP03, S. 5]. Das *Air Force Doctrine Document 2-2.1 (AFDD 2-2.1)* vom August 2004 nennt mit Blick auf Angriffe auf die amerikanischen Weltraumfähigkeiten die Möglichkeit der Entwicklung oder die Beschaffung (den Kauf) von dazu nötigen Fähigkeiten seitens eines Gegners. Als mögliche Bedrohungen („*near- and far-term threats*“) werden Angriffe auf oder Sabotage von Bodenstationen und unterstützende Infrastrukturen, *RF-Jamming*, Laser-Systeme zur zeitweisen oder permanenten Schädigung oder Zerstörung von Satelliten-Subsystemen, EMP-Waffen zur Zerstörung der Elektronik von Satelliten oder Bodenstationen, kinetisch wirkende Antisatellitenwaffen (*kinetic antisatellite weapons*) sowie „*Information operations*“ gegen Computersysteme von Bodenstationen oder Satelliten angeführt [USA04].

Abhängig von der Intention eines Angreifers sind verschiedene Faktoren mit Blick auf die Realisierbarkeit eines Vorhabens zu bedenken. Dies betrifft sowohl nötige Fähigkeiten seitens des Angreifers als auch mögliche Gegebenheiten und Maßnahmen, die Satelliten und deren Dienste schützen bzw. sicherstellen können. Neben etwaigen Vor- bzw. Nachteilen bestimmter Waffenwirkungen (siehe Tab. 4.1) hängt die Effizienz einer gegen Satelliten gerichteten ASAT-Waffe u.a. ab von:

- Der Verwundbarkeit von Bodenstationen eines Satelliten;
- Der Störanfälligkeit oder Manipulierbarkeit gesendeter oder zu empfangener Daten;
- Der Verwundbarkeit eines Zielsatelliten, u.a. abhängig von der Satellitenfläche, den möglicherweise verwendeten Schilden (vgl. auch Kapitel 4.3), der Sensorbestückung oder der Energieversorgung (z.B. Sonnenpanele oder Reaktor);
- Der Auslegung eines Systems, z.B. der Anzahl von unabhängigen Satelliten für einen (ähnlichen) Anwendungszweck oder die Redundanz eines Satellitensystems;
- Den Bahncharakteristika, z.B. Bahnhöhe, Neigung und Satellitenposition zu bestimmten Zeitpunkten (zu Satellitenbahnen siehe auch Kap. A.2);
- Der Stationierung und Manövrierfähigkeit von Waffen und Ziel sowie nötige Zeitlinien/-fenster;
- Dem Zugang zum Weltraum und zu Weltraumtechnologien, um ggf. Waffen in den Weltraum zu bringen, d.h.
 - Start- u. Trägerkapazitäten: *space launch vehicles (SLVs)* oder ballistische Raketen;
 - Bodenstationen und Radarkomponenten.

⁶¹Die Signalstärke des Störsignals muss i.d.R. das Nutzsinal um 30 dB bis 40 dB übersteigen, um einen bereits auf die Satelliten abgestimmten Empfänger (*locked receiver*) zu stören. Störungen wurden auch schon bei geringeren Störsignalstärken beobachtet. [W⁺96] zitiert nach [JAV01].

⁶²*Interim Space Capstone Threat Capabilities Assessment (NAIC-1564-0727-03, Jul. 2003)* und *Threats to US Space Systems and Operations Over the Next Ten Years (NIC-ICB 2003-09C, Feb. 2003)*, benannt in [SMP03, S. 5].

Bezüglich der Bahnhöhe von Satelliten sind prinzipiell beliebige Höhen über dem Erdboden denkbar, praktisch finden sich Satelliten jedoch nur in mehr oder weniger diskreten Bahnhöhen. Hintergrund sind dabei beispielsweise die für verschiedene Anwendungszwecke nötigen Bahnhöhen selbst⁶³ oder angestrebte/gewünschte Umlaufzeiten von Satelliten und die dadurch vorgegebene Höhe der Bahn (siehe auch Kap. A.2). Abbildung 4.2 zeigt die Bahnhöhen⁶⁴ von nicht geheimen Satelliten verschiedener Anwendungsfelder. Die Zahlen entstammen der *Celestrak NORAD Data base*, ebenso die Einteilung der Satelliten nach den Anwendungsfeldern.

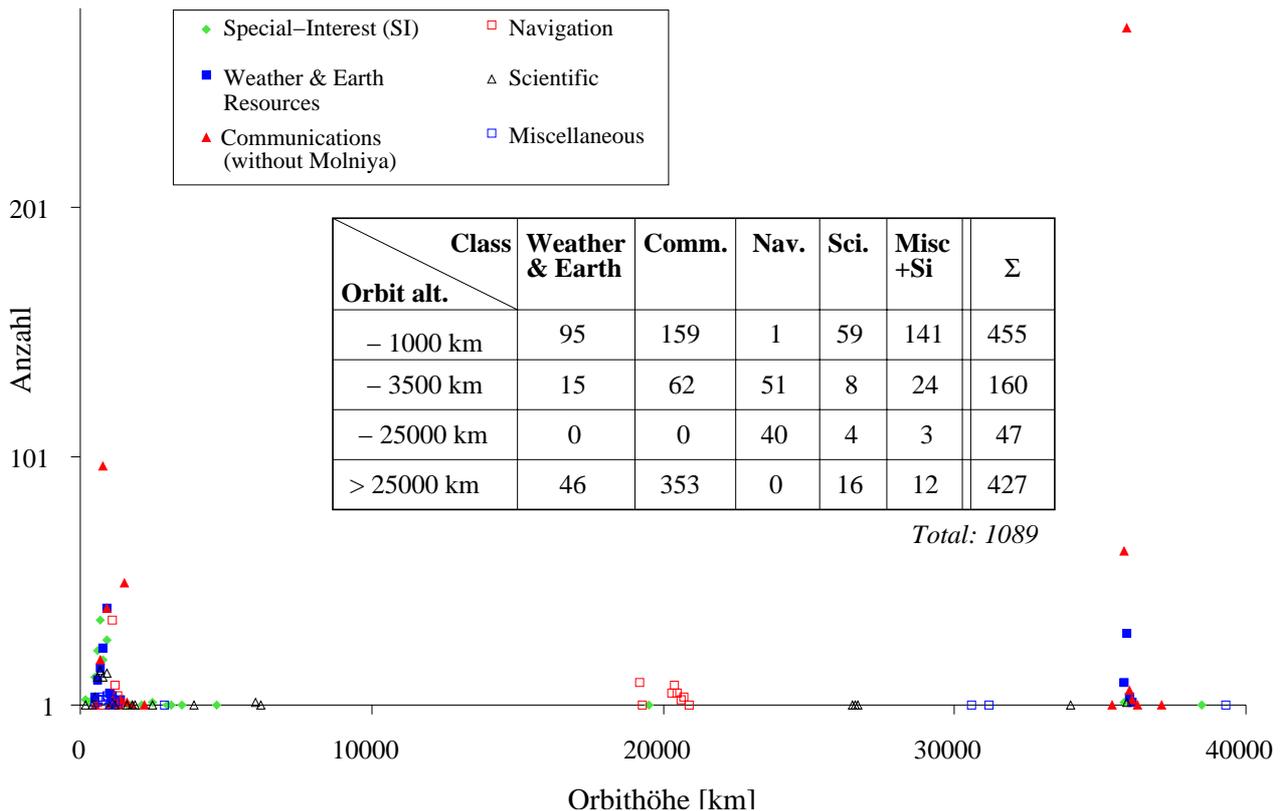


Abbildung 4.2: Bahnhöhen von Satelliten (nicht geheim, Stand: 31.05.2003). Zahlen nach Celestrak NORAD Data base (www.celestrak.com/NORAD)

Der Abbildung 4.2 ist zu entnehmen, dass sich eine Vielzahl von – nicht geheimen – Satelliten (grob die Hälfte) auf niedrigen Bahnhöhen bis 1000km bzw. 3500km befinden (im Niedrigen Erdorbit oder auch *Low Earth Orbit (LEO)*). Eine Häufung von Satelliten findet sich ebenfalls um etwa 20000km (im Mittleren Erdorbit bzw. *Medium Earth Orbit (MEO)*) sowie in Bahnhöhen von etwa 36000km (im Geosynchronen Orbit⁶⁵ oder auch *Geosynchronous Orbit (GSO)*). Dazwischen finden sich weite Bereiche nicht genutzter Bahnhöhen⁶⁶. Die Bahnhöhen von militärischen Satelliten stellen sich ähnlich dar. Verstärkt finden sich diese auf niedrigen Umlaufbahnen zwi-

⁶³Nötige Bahnhöhen im Sinne von möglichst niedrigen Bahnhöhen, beispielsweise zum Erreichen von hohen Bodenauflösungen bei bildgebenden Systemen oder zum Erzielen von niedrigen Signallaufzeiten.

⁶⁴Den Wert der großen Bahnhalbachse von Bahnen geringer Exzentrizität, abzüglich des mittleren Erdradius, siehe hierzu auch A.2.

⁶⁵Einen Spezialfall des Geosynchronen Orbits stellt der Geostationäre Orbit (Geostationary Orbit (GEO)) dar, dessen Bahnebene in der Äquatorebene liegt.

⁶⁶Hier nicht dargestellt sind Satelliten auf hochelliptischen Bahnen, sog. Molnija-Bahnen, welche eine starke Variation der Bahnhöhe aufweisen.

schen 400km bis 1500km. Bekanntester Vertreter von Satellitensystemen im MEO ist das *Global Positioning System (GPS)*. Satelliten zur Raketenfrühwarnung liegen häufig im GSO/GEO, es werden für diese aber auch hochelliptische, so genannte Molnya-Bahnen, verwendet. Bahndaten von militärischen Satelliten finden sich in Kapitel A.4 in Tabelle A.3, Benennungen einiger militärischer Satelliten und deren Anwendungsbereiche finden sich in Tab. 2.2.

Die Bahnhöhe eines Satelliten kann als ein Anhaltspunkt für eine mögliche Gefährdung eines Satelliten gesehen werden, nämlich welche technische Voraussetzungen (z.B. Arten von Trägersystemen und *kill vehicle*) nötig sind, um überhaupt in dessen Nähe zu gelangen. Der genannte Wert der Bahnhöhe stellt dabei allerdings insbesondere bei niedrigen Bahnen eher einen unteren Grenzwert dar, da nicht davon auszugehen ist, dass die Bodenspur eines Satelliten direkt über einem anzunehmenden Startpunkt des gegen ihn gerichteten Systems verläuft⁶⁷.

Die in der oben genannten Aufzählung genannten „Parameter“ müssen mehr oder weniger eng definiert bzw. berücksichtigt und beschränkt werden, wenn ein Rüstungskontrollregime für den Weltraum etabliert werden soll. Eine grundlegende Schwierigkeit stellt dabei die Definition einer Weltraumwaffe dar (siehe Kapitel 5.2.1).

4.2 Weltraumwaffen

Die Definition einer Weltraumwaffe ist einer der Kernpunkte für die Rüstungskontrolle im Weltraum und zugleich einer der Komplexesten. Obwohl verschiedene Vorschläge zur Definition von Weltraumwaffen erarbeitet wurden und auch noch vorgeschlagen werden (siehe hierzu Kapitel 5.2.1), gibt es bisher keine allgemein gültige bzw. akzeptierte Definition. Abhängig von der Intention des Definierenden können z.B. der Stationierungsort, Waffenprinzipien, der (Haupt-)Anwendungszweck eines Waffensystems oder auch der Blick auf eine möglichst hohe politische Akzeptanz (und eine ggf. dadurch überhaupt mögliche Verabschiedung eines Abkommens) sein. Mögliche Ansatzpunkte zur Definition von Weltraumwaffen werden in Kapitel 5.2.1 näher angesprochen, im Folgenden wird zunächst auf eher technische Aspekte von möglichen Weltraumwaffen eingegangen.

4.2.1 Waffenprinzipien (im Weltraum)

Aus technischer Sicht gibt es verschiedene Mittel und Wege, Objekte im Weltraum an ihrem vorgesehenen Funktionieren zu hindern (siehe auch Kap. 4.1). Mit Blick auf das direkte Beschädigen oder Zerstören von Objekten im Weltraum lässt sich generell zwischen kinetischen (*kinetic energy weapon (KEW)*), durch Strahlung herrührenden (*directed energy weapon (DEW)*) und nuklearen (*nuclear weapon (NW)*) Waffenwirkungen unterscheiden. Diese bieten aus militärischer Sicht verschiedene Vor- und Nachteile, Tab. 4.1 gibt eine Übersicht.

Satelliten bewegen sich auf vorhersehbaren Bahnen um die Erde. Sie sind deutlich verwundbarer gegenüber kinetisch wirkenden Waffen als die für den Wiedereintritt in die Atmosphäre gehärteten Gefechtsköpfe ballistischer Raketen: „In addition, almost any mid-course missile defense system could threaten satellites, which are more fragile and more predictable (and therefore easier to hit) than ballistic missile warheads.“ [DGKM04, S. 59]. Die *hit-to-kill*-Technologie (siehe auch [MDA02, Ray02]) des von der derzeitigen US-Administration geplanten/beschlossenen Programms zur Raketenabwehr kann somit auch gegenüber Satelliten in niedrigen Erdumlaufbahnen effektiv sein. Bodengestützte Interzeptoren können das *kill vehicle* auf Höhen von einige

⁶⁷Erläuterungen zur Bahnbewegung von Satelliten und deren Bodenspuren finden sich u.a. in [Dre91].

Typ	System	Wirkung	Vorteil	Nachteil
KEW	Raketen	(teilw.) Zerstörung - direkt (kill vehicle) - indirekt ('Schrottwolke')	Hohe Annäherungsgeschwindigkeit	Beschleunigung der Projektillmasse, Zielannäherung, Resultierender Weltraumschrott
	Kill vehicles	(teilw.) Zerstörung	Hohe Annäherungsgeschwindigkeit	Beschleunigung der Projektillmasse, Zielannäherung, Resultierender Weltraumschrott
	Elektromagn. Kanonen <i>EM Guns</i>	(teilw.) Zerstörung	Hohe Annäherungsgeschwindigkeit	Energie, technische Probleme
DEW	Kollisionskörper <i>-Metal rods</i> -Manövrierbare Satelliten <i>Reentry vehicles</i>	(teilw.) Zerstörung	Erkennen und Maßnahmen gegen einen Angriff schwierig	Zielannäherung, Resultierender Weltraumschrott
	Laser	(teilw.) Zerstörung, - Solarpanels - Satelliten/Sensoren - Satelliten blenden	'Globale' Überdeckung, Zeitvorteil gegenüber vergleichbaren Boden- oder Luftschlägen, kein Konflikt mit Anrainerstaaten des Zielgebietes	keine zeitl. instantane Wirkung, teilw. Zielführung
	<i>Particle Beams, X-Rays</i>	(teilw.) Zerstörung, Funktionsunterbrechung	Direkte Wirkung instantane Wirkung	Energie, Sichtlinie, Atmosphäre, Gegenmaßnahmen, Resultierender Weltraumschrott
NW	Mikrowellen	(teilw.) Zerstörung, Funktionsunterbrechung	Unsichtbar, 'instantane' Wirkung	Ausbreitung, Energie
	Nuklearwaffen	(teilw.) Zerstörung	Unsichtbar, 'instantane' Wirkung	low resolution (?), Gegenmaßnahmen
Sonst.	Manövrierbare Satelliten <i>(docking satellites)</i>	Funktionsunterbrechung, (teilw.) Zerstörung	Letalität, Zerstörungsradius	Verkürzte Lebensdauer oder Zerstörung eigener Satelliten
	<i>Jamming</i>	Funktionsunterbrechung (z.B. GPS* stören)	Erkennen und Maßnahmen gegen einen Angriff schwierig Instantane Wirkung	? Zielführung? Technik? ???

*: *Global Positioning System*

Tablle 4.1: Übersicht zu den Wirkungen, Vor- und Nachteilen möglicher Weltraumwaffen.

tausend Kilometer bringen, womit Satelliten im *LEO* und höher erreichbar wären. Das bodengestützte System mittlerer Reichweiten (*Ground-Based Midcourse system*) verfügt zudem über Bodenradars (X-Band) und weltraumgestützte Sensoren (*SBIRS*⁶⁸ *satellites*), welche in Verbindung mit dem *deep space surveillance network (DSSN)* und den Radarsensoren des NORAD (*North American Aerospace Defense Command*) ein präzises Verfolgen (*tracking*) von Satelliten auf ihren Bahnen erlauben. D. Wright und L. Grego zeigten auch die mögliche Fähigkeit des seegestützten Aegis/LEAP-Raketenabwehrsystems zum Einsatz gegen Satelliten in Höhen von 400km bis 500km [WG02].

Andere weltraumgestützte Raketenabwehrsysteme, wie das so genannte *Brilliant Pebbles*, waren unter Bush-Senior unter dem Programm GPALS⁶⁹ geplant. Mehrere hundert, sich autonom steuernde (Klein-)Satelliten sollten ballistische Raketen während deren Mittelflugphase (*mid-course phase*) abfangen [AKL⁺92]. Das neue Programm der jetzigen Administration ist gegen sich in der Startphase befindliche Raketen gerichtet, könnte aber über die Fähigkeit zum Erreichen von höher gelegenen Orbits verfügen, um gegen Satelliten eingesetzt zu werden.

Strahlen- oder Partikelwaffen mögen exotisch erscheinen, doch besitzt der zur Zeit im Rahmen des US-Raketenabwehrprogramms sich in der Forschungs- & Entwicklungsphase befindliche Hochenergielaser eine inhärente ASAT-Fähigkeit [Lex03, S. 24], [WG02]. Das *Airborne Laser (ABL)*-System soll unter Verwendung eines Hochenergielasers *High Energy Laser (HEL)* eine Rakete in der Startphase zerstören (durch Schädigung der Raketenhülle, welche den beim Raketenstart wirkenden Kräften dann nicht mehr standhalten kann). Gedacht ist das ABL-System als ein modifiziertes Flugzeug vom Typ Boeing 747, welches einen im Megawattbereich arbeitenden chemischen Laser⁷⁰ beherbergt. Die Operationshöhe des ABL soll bei etwa 13km liegen, die angestrebte Reichweite des Lasers gegen ballistische Raketen soll zwischen 200km bis 500km liegen. Ausgehend von den angestrebten Reichweiten für den Laser besitzt das System, sollte es je funktionieren, eine inhärente ASAT-Fähigkeit gegenüber Satelliten im LEO, zumal er – gesetzt den Fall, er kann gegen Satelliten gerichtet werden – in einem solchen Fall die Atmosphärenschichten höchster Dichte nicht zu durchdringen braucht. Selbst im Falle der Verwendung einer geringeren als der angestrebten Laserleistung ist davon auszugehen, dass Sensoren von Satelliten (ggf. kurzzeitig) geblendet werden können. Erste Flugtests des ABL ohne Laser sollen noch 2005 durchgeführt werden.

Ein weiterer im Rahmen von SDI als SBL vorgesehene Hochenergielaser war der *hydrogen-fluoride Alpha laser*, der erstmalig 1990 getestet wurde, aber ausrangiert sein soll.⁷¹ Der Laser arbeitete mit einer Wellenlänge im Bereich von 2,4 μ m bis 2,9 μ m und wurde zur Verwendung bei der weltraumgestützten Abwehr von Raketen durch den *Space Based Laser (SBL)* ausgerechnet. Im Dezember 2002 verkündete die *Missile Defense Agency (MDA)* die Bereitstellung einer Testumgebung (*test bed*) im Jahr 2004. Erste SBL-Tests sind für den Zeitraum 2008–2010 geplant. Die Technologie ist weit davon entfernt, operationell eingesetzt werden zu können, nichts desto trotz könnte der angestrebte weltraumgestützte Laser auch die Fähigkeit zum Erreichen von Satelliten auf geosynchronen Bahnen besitzen. Die Entwicklung des o.g. ABL-Systems hat deutliche Priorität gegenüber dem SBL, welcher als mögliches zu erreichendes Fernziel anzusehen ist. Deutlich wird das auch anhand des der SBL-Entwicklung zugewiesenen Budgets, welches für das Haushaltsjahr 2003 und die Folgenden auf US\$ 50 Mio. pro Jahr reduziert wurde [DoD02b]. Im Budget 2006 ist der SBL nicht mehr zu finden, es wird aber vermutet,

⁶⁸Space Based Infrared System

⁶⁹Global Protection Against Limited Strikes.

⁷⁰Ein *Chemical Oxid Iodid Laser (COIL)* mit einer Wellenlänge von $\lambda = 1,315\mu\text{m}$

⁷¹Eine Programmbeschreibung findet sich bei der Federation of American Scientists (FAS): <http://www.fas.org/spp/starwars/program/sbl.htm> und der Programmstatus von 1999 ist wiedergegeben unter <http://www.aiaa.org/content.cfm?pageid=406&gTable=mtgpaper&gID=2588>.

dass Entwicklungen im Rahmen von allgemein formulierten Programmen zur Laser-Forschung oder in „black budgets“ vorangetrieben werden.⁷² Angesichts dieser Dynamik wird befürchtet, dass andere Nationen auch bodengestützte Laser dazu verwenden könnten, um Satelliten zu blenden. Eine zukünftige Herausforderung besteht deshalb in der Errichtung eines Regimes, das präventiv „neue Waffenprinzipien“ wie Laser- oder Mikrowellenwaffen verbietet. Methoden zur Erkennung und Verifikation solcher Waffen nahe der Quelle sind bereits ausgearbeitet [B⁺90]. Eine im Orbit bzw. in großer Höhe stattfindende Nuklearexplosion⁷³ kann Satelliten zeitnah durch die bei der Explosion freiwerdende Strahlung schädigen oder zerstören, wenn diese sich in der Sichtlinie der Explosion befinden. Satelliten, welche sich zum Zeitpunkt der Explosion außerhalb der Sichtlinie befanden, unterliegen einer langfristigen Gefährdung durch eine Erhöhung der Strahlung im Van Allen Gürtel. Eine Schädigung von Satelliten durch eine Schockwelle gibt es aufgrund der „fehlenden“ Atmosphäre nicht.

Bereits eine Nuklearexplosion geringerer Sprengkraft (10–20kt) in einer Höhe von 125km bis 300km vermag eine Vielzahl von zivilen und militärischen Satelliten zu zerstören. Eine Studie der *Defense Threat Reduction Agency (DTRA)* betrachtet verschiedene Szenarien⁷⁴ und kommt zu dem Schluss, dass unter den gemachten Annahmen⁷⁵ etwa 5%–10% einer jeden Satellitenkonstellation im LEO durch direkte Strahlenwirkung zerstört oder geschädigt wird. Zudem werden Elektronen aus den Spaltprodukten im Magnetfeld der Erde eingefangen und führen zu einer signifikanten Erhöhung der Strahlungsumgebung im LEO, welche mehrere Jahre andauern⁷⁶ kann. Konsequenz dessen ist eine deutliche Reduzierung der Lebensdauer von Satelliten⁷⁷. Dies betrifft auch die als Ersatz für die ausgefallenen Satelliten neu stationierten Satelliten. Abhängig vom Orbit und dem Grad der Härtung können Satelliten ihre normale Lebensdauer erst wieder erreichen, wenn sie 6 bis 24 Monate nach dem Detonationsereignis gestartet werden. Mögliche Folge einer Nuklearexplosion wäre der Verlust eines großen Teils von zivilen und militärischen Kommunikations-, Beobachtungs- und Wettersatelliten sowie von wissenschaftlicher Infrastruktur im LEO. [DTR01]

Als Waffe ebenfalls denkbar sind Satelliten von geringer Masse und kleinen Ausmaßen, sogenannte Mikro- oder Nanosatelliten⁷⁸. Die *Space Commission* äußerte sich mit Blick auf Mikrosatelliten dahingehend, dass diese sowohl als Sensorplattform dienen und Inspektionen von Satelliten durchführen können, aber als Waffe adaptiert werden können⁷⁹.

⁷²Vgl. [LC04],[Koh04, S. 31] sowie [HKLS05].

⁷³Die Stationierung einer Nuklearwaffe im Weltraum ist durch den Weltraumvertrag oder den noch nicht in Kraft getretenen umfassenden Teststoppvertrag (*Comprehensive Test-Ban Treaty*; CTBT) verboten. Allerdings kann ein einfacher Nuklearsprengkopf in kurzer Zeit durch eine Mittelstreckenrakete in große Höhe und zur Detonation gebracht werden.

⁷⁴Die Studie der DTRA nennt für das Jahr 2010 z.B. als mögliche Ursachen einer nuklearen Höhenexplosion: a) die Eskalation eines militärischen Konflikts zwischen Indien und Pakistan, welche in einem „nuklearen Warnschuss“ mündet, b) den Abfang einer vom nordkoreanischen Territorium aus gestarteten, nuklear bestückten Rakete durch ein Raketenabwehrsystem und c) die Schädigung von Industrienationen bzw. der Wirtschaft durch eine 10kt-Explosion in einer Höhe von 150km über Japan. [DTR01]

⁷⁵Es wird angenommen, dass die Härtung der Satelliten ausreicht, um dem zweifachen natürlichen Strahlungshintergrund zu widerstehen. Die Satelliten hören auf zu funktionieren, wenn die Strahlung den entsprechenden Schwellwert überschritten hat. Der natürliche Strahlungshintergrund ist abhängig von der Satellitenbahn.

⁷⁶[Pap02] gibt an, dass die aus einer 1,4Mt - Explosion in 400km Höhe (Experiment „STARFISH“, 1962) resultierende erhöhte Strahlung bis in die 70er Jahre anhielt.

⁷⁷Eine Folge des Experiments „STARFISH“ war die Zerstörung von sieben Satelliten innerhalb von sieben Monaten, häufig durch die Degradation der Solarzellen. [Pap02]

⁷⁸Die Masse eines Mikrosatelliten variiert abhängig von der Definition von „einigen“ Kilogramm bis zu 500kg. Mehrere Hundert solcher Satelliten wurden in den vergangenen 25 Jahren gestartet.

⁷⁹„*Microsatellites can perform satellite inspection, imaging and other functions and could be adapted as weapons*“. [SC01, S. 20]

Es gibt Bedenken, dass solche Systeme als Waffen genutzt werden könnten, da sie bedingt durch ihre Größe billiger (mit Blick auf Start- und Stationierungskosten) und auch für viele Staaten verfügbar sind. Allein im Jahre 2004 haben China, Frankreich, Italien, Spanien und Saudi-Arabien Mikrosatelliten in den Weltraum transportieren lassen. Man sollte in der Diskussion allerdings nicht vergessen, dass die Verwendung eines Kleinstsatelliten als Waffe das Mitführen einer hinreichenden Menge von Treibstoff und hinreichend dimensionierter Triebwerke zum Erreichen des Ziels erfordert. Zudem werden Sensoren zur Zielerkennung/-unterscheidung und zur Zielführung benötigt. Existierenden Satelliten mangelt es an vielen dieser Voraussetzungen für eine Verwendung als Anti-Satellitenwaffe. Ein weiteres Gegenargument gegenüber einer möglichen Verwendung eines solchen Systems kann darin gesehen werden, dass selbst kleine Satelliten nach erfolgtem Start detektiert und verfolgt werden können. Man sollte nicht vergessen, dass bis heute erst eine kleine Anzahl von Akteuren Zugang zum Weltraum hat und das Heranbringen eines Kleinstsatelliten an einen Zielsatelliten Zeit für Steuermanöver und Annäherung benötigt. Das Stören eines an einen Satelliten gerichteten Datenstroms (*uplink jamming*) erfordert hohe Energien, wozu eher größere Anlagen nötig sind. Für eine permanente Störung von *uplink*-Verbindungen ist in der Regel mehr als eine „Störstation“ nötig. Eine Übernahme der Kontrolle eines Satelliten erfordert detailliertere Kenntnisse über das Signal als zum Bau eines *uplink-jammers* nötig ist. *Downlink jamming* stellt keine signifikante Bedrohung dar. Es hat keinen direkten Einfluss auf den Satelliten und erfordert eine gewisse räumliche Nähe zum Nutzer, um für diesen das Satellitensignal unbrauchbar zu machen. Bedenken gegenüber physischen Angriffen sollte in Form eines hinreichenden Schutzes von Bodenstationen entgegengewirkt werden können.

Abgesehen von der nuklearen Raketenabwehr basieren die bisher entwickelten ASAT-Systeme auf kinetisch wirkenden Systemen. Dies gilt auch für eine Reihe aktueller Projekte oder denkbarer Szenarien, welche sich prinzipiell als ASAT-Waffe eignen. Neben der von der US-Regierung beschlossenen Raketenabwehr sind u.a. manövrierbare Satelliten, Weltraumminen oder mit einem „Beutel voll Stahlkugeln“ o.ä. bestückte Raketen (im Falle einer nicht Raumfahrt treibenden Partei) vorstellbar. Sofern derartige Waffen nicht schon selbst Trümmerteile als Bestandteil der Waffenwirkung nutzen, so werden spätestens als Resultat der Waffenwirkung verschieden große Trümmerteile im Weltraum generiert. Die Konsequenzen dessen (und in eingeschränktem Maße auch die Wirkung von kinetischen Waffen im Weltraum) lassen sich anhand von Studien zu Weltraumschrott aufzeigen. Im Folgenden werden Ergebnisse solcher Studien vorgestellt.

4.3 Weltraumtrümmer

Die Entscheidung einer Nation für das Testen oder die Stationierung von Weltraumwaffen kann andere Staaten dazu bewegen, einen solchen Schritt ebenfalls zu vollziehen. Derartige Schritte beschränken sich dabei nicht nur auf einen militärpolitischen Kontext, vielmehr betrifft die Stationierung von Weltraumwaffen die generelle Nutzung des Weltraums im Allgemeinen. Der erdnahe Weltraum ist kein leerer Raum, vielmehr finden sich in ihm Objekte natürlichen oder künstlichen Ursprungs. Diese bewegen sich mit hohen Geschwindigkeiten durch den Raum und stellen generell eine permanente Gefahr für Weltraumkomponenten auf Umlaufbahnen dar.

4.3.1 Herkunft und Klassifikation von Weltraumtrümmern

Objekte, die durch Aufprallwirkung Gegenstände im Weltraum gefährden, können sowohl natürlichen als auch künstlichen (durch den Menschen hergestellten) Ursprungs sein. Meteoriten oder Kometen (Eis/Fels), beide natürlichen Ursprungs, durchqueren den Raum mögli-

cher Erd-Orbits mit Durchschnittsgeschwindigkeiten von 20km/s. In Höhen von etwa 36000km (geosynchronen Orbits) stellen Meteoriten die am häufigsten vorkommenden Aufprallobjekte dar, ihre Geschwindigkeiten erreichen hier bis zu 70km/s [BRA⁺97]. Weltraumschrott (*orbital*

Klassifikator	Klasse	Beschreibung
Herkunft (<i>Debris type</i>)	<i>Fragmentation material</i>	Teile zerstörter Fahrzeuge (Tests von Antisatellitenwaffen [ASAT], Explosionen von Raketenstufen) und Fragmente von Satelliten (Farbpartikel, Teile des Hitzeschilds etc.). Der Anteil an der Gesamtmenge beträgt ca. 40,0%.
	<i>Nonfunctional spacecraft</i>	Intakte Komponenten nach Missionsende bzw. nach nichtdestruktiver Fehlfunktion. Der Anteil an der Gesamtmenge beträgt ca. 25,3%.
	<i>Rocket bodies</i>	Ausgebrannte Raketenoberstufen. Der Anteil an der Gesamtmenge beträgt ca. 19,4%.
	<i>Mission-related items</i>	Sprengbolzen, Abdeckbleche etc. aus der Trennung von Raketenstufen oder Raumfahrzeugen. Dies umfasst auch Reste (Durchmesser < 25 Mikrometer und um 1 cm) von Feststoff-Raketenmotoren sowie kleine Partikel in einer Höhe nahe 900km (vermutlich NaK-Tröpfchen). Der Anteil an der Gesamtmenge beträgt ca. 13,3%.
	<i>Debris from unknown sources</i>	Sonstiges. Der Anteil an der Gesamtmenge beträgt ca. 2,0%.
Größe (<i>Particle size</i>)	<i>Large</i>	Objektdurchmesser ist größer als 10 cm. Viele dieser Objekte können durch bodengestützte Sensoren katalogisiert und überwacht werden. Einschränkungen dabei können die geringe Albedo von typisch 10% (optische Teleskope), geringe Orbit-Inklination (fehlende ausgerichtete Sensoren) sowie hoch elliptische Bahnen sein.
	<i>Medium</i>	Objekte mit Durchmessern zwischen 1mm und 10cm. Ihre Population wird auf einige zehn Millionen geschätzt, basierend auf Messungen mit den Haystack-Radar (dieses kann Objekte mit einer Größe bis hinunter zu 1cm detektieren).
	<i>Small</i>	Objektdurchmesser ist kleiner als 1 mm. Große Population, welche aus in-situ-Messungen und Schadensuntersuchungen an zurückgekehrten Raumfahrzeugen abgeschätzt wird.

Tabelle 4.2: Klassifikation von Weltraumschrott nach Herkunft und Größe. In Anlehnung an [BRA⁺97].

debris oder *space debris*) hingegen ist nicht natürlichen Ursprungs, sondern entstammt den Hinterlassenschaften aus etwa 45 Jahren Raumfahrt. Es handelt sich bei diesen um Teile von Raumfahrzeugen (z.B. Raketenstufen), Überreste von gewollten und ungewollten Explosionen, missionsbedingte Objekte⁸⁰ oder nicht funktionsfähige Satelliten u.a.m. Die Gesamtmasse dieser Objekte beläuft sich auf ungefähr 2000t bis 3000t, ihre mittlere Geschwindigkeit beträgt etwa 10km/s. Jedes dieser Objekte kann nach seiner Herkunft (*debris type*) sowie seiner Größe (*particle size*) klassifiziert werden, siehe Tab. 4.2. Bei der Einteilung nach der Teilchengröße wird häufig zwischen drei Klassen unterschieden: kleine Objekte mit Objektdurchmessern kleiner als

⁸⁰Z.B. Treibstoffreste oder Spannbänder, Sprengbolzen und Abdeckkappen, die bei der Inbetriebnahme von Triebwerken oder Sensoren freigesetzt worden sind.

1mm (Klasse *small*), Objekte mit Durchmessern zwischen 1mm und 10cm (Klasse *medium*) sowie Objekte mit mehr als 10cm Teilchendurchmesser (Klasse *large*).

Die Zahl der Objekte variiert in Abhängigkeit von den Bahnparametern und der betrachteten Teilchengröße. Kleine Teilchen kommen häufiger vor als größere Objekte, woraus sich unterschiedliche mittlere Zeitspannen zwischen *debris*-Einschlägen auf ein Zielobjekt (z.B. ein Raumschiff) ergeben. Die mittleren Zeitspannen zwischen solchen Einschlägen können je nach Bahnhöhe zwischen einigen Tagen und mehreren tausend Jahren betragen (vgl. Tabelle 4.3).

Impactor size	0.1 mm	1 mm	1cm	10 cm
Altitude				
400 km	4.5 d	3.9 y	1214 y	16392 y
800 km	2.3 d	1.0 y	245 y	1775 y
1500 km	0.9 d	1.5 y	534 y	3109 y
GTO/HEO (400 km x 35786 km)	16.8 d	17.7 y	7650 y	96591 y
MEO (20000 km)	43.8 d	104.9 y	77219 y	6614807 y
GEO (35786 km)	78.1 d	264.0 y	154006 y	414749 y

Tabelle 4.3: Mittlere Zeitspanne zwischen *debris*-Einschlägen auf Zielobjekte mit einem Querschnitt von $A=100\text{m}^2$. [Kli03, S. 3.1.1, 3.2.1, 3.3.1 und 3.4.1.]
,d‘ bzw. ‚y‘ bedeuten ‚Tage‘ bzw. ‚Jahre‘.

Die Wahrscheinlichkeit der Kollision eines Raumfahrzeugs mit *large*-Fragmenten ist recht gering, ein solches Ereignis hätte jedoch katastrophale Folgen (Scheitern der Mission). Bei einer Kollision mit *medium*-Fragmenten ist mit signifikanten Schäden am Raumfahrzeug und möglicherweise auch mit einem Scheitern der Mission zu rechnen. *Small*-Fragmente können Teilkomponenten von Raumfahrzeugen zerstören oder Krater, Zersplitterungen oder Abtragungen in bzw. von Oberflächen verursachen. Zudem können sie eine Beschädigung von Haltebauteilen oder Spannseilen zur Folge haben. Bereits jetzt hat es mehrere schwere Zwischenfälle in der Raumfahrt gegeben, die durch Weltraumschrott ausgelöst wurden⁸¹. Die Abb. 4.3 illustriert Schäden durch *small*- bzw. *medium*-Fragmente. Gezeigt sind neben dem Ergebnis eines Hochgeschwindigkeits-Einschlag-Tests (*hypervelocity impact test*) auch an aus dem Weltraum zurückgekehrten Objekten vorgefundene Schäden: a) Schäden am Fenster eines *Space Shuttle* und b) Schäden an einem zur Erde zurückgebrachten Solarpanel des *Hubble*-Weltraumteleskops (*Hubble Space Telescope (HST)*).

4.3.2 Räumliche Verteilung und Lebensdauer von Weltraumtrümmern

Die Kenntnis von Größe und Verteilung von Weltraumtrümmern⁸² ist sowohl für Betreiber als auch für Erbauer von Raumfahrzeugen von Interesse, z.B. für die Konstruktion von Schilden an Raumfahrzeugen oder die Missionsplanung und -durchführung. Hierzu werden seit Anfang der 80er Jahre Modelle zur Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Verteilung von Weltraumtrümmern entwickelt. U.a. existieren Modelle zur Beschreibung des Kollisionsrisikos von

⁸¹Siehe im Detail [DGKM04, S. 5].

⁸²Zu Weltraumtrümmern und deren Detektion siehe z.B. auch [Wie02, MLF⁺02].

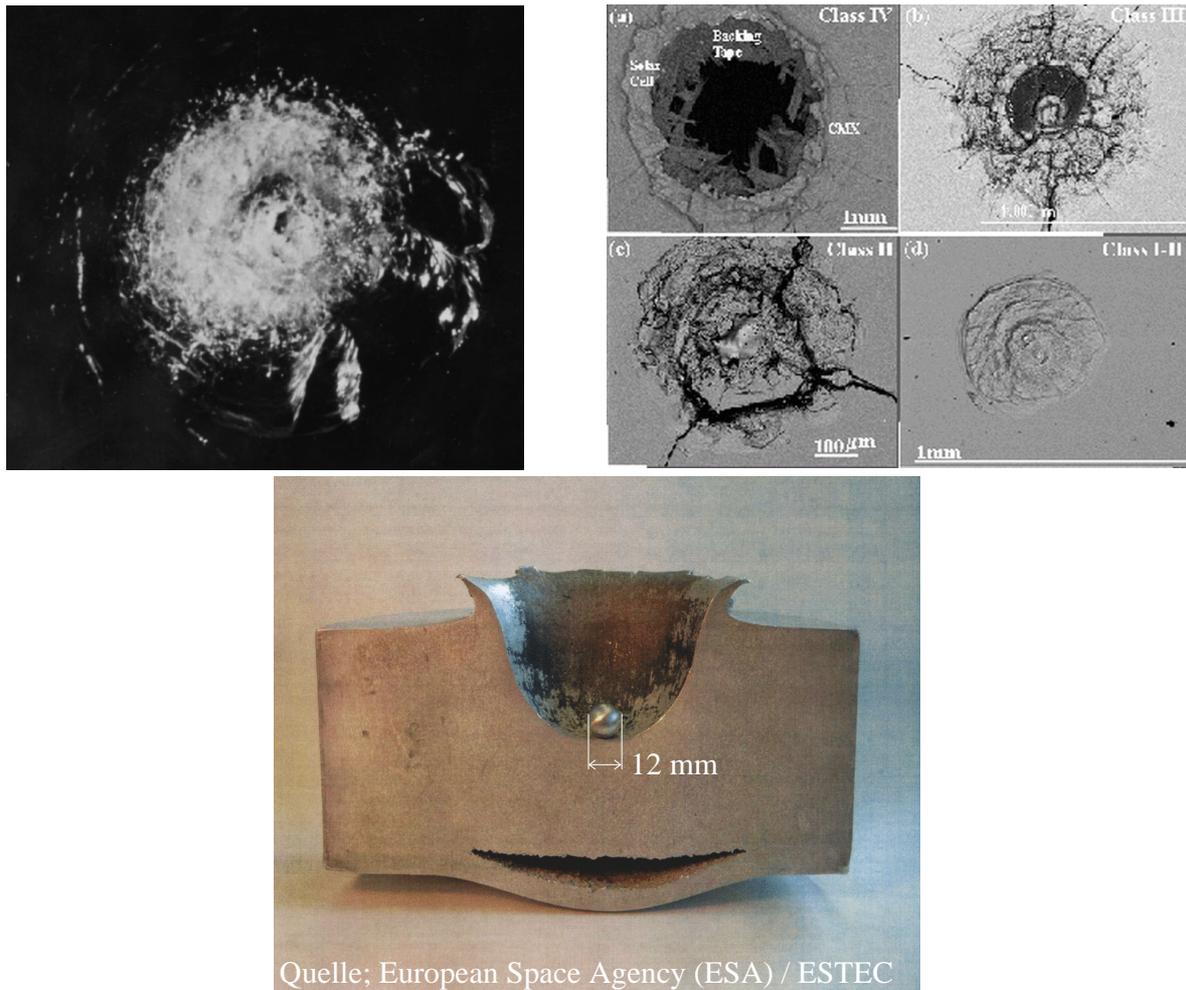


Abbildung 4.3: Illustration zu Schäden an Raumfahrzeugen durch Weltraumtrümmer. Die Abbildung oben links zeigt eine durch einen Farbsplitter verursachte Beschädigung am Fenster eines Space Shuttle [BRA⁺97]. Die Abbildung oben rechts (ein *Back-scattered electron image*) zeigt eine Beschädigung am Solarpanel des Hubble-Weltraumteleskops unterschiedlicher Einschlagmerkmale [GKD99]. Die untere Abbildung illustriert das Ergebnis eines *hypervelocity impact tests*, bei welchem eine Zielplatte aus Aluminium von einer Aluminiumkugel getroffen wurde (12mm Kugeldurchmesser, die Einschlaggeschwindigkeit betrug 6,8km/s) [FKJL03, Folie Nr. 16].

Satelliten mit Fragmenten von kürzlich entstandenen Trümmerteilen wie dem (*satellite breakup risk-assessment model (SBRAM)*) der *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, zur Beschreibung des langfristigen Einflusses auf Trümmer im Weltraum (z.B. *NASA EVOLVE long-term debris evolution model*) oder Konstruktionsmodelle zur Vorhersage von Dichte- und Geschwindigkeitsverteilungen von Meteoriten und Trümmerteilen wie das Modell *Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference (MASTER)*⁸³ der Europäischen Weltraumagentur ESA oder dem *NASA Orbital Debris Engineering Model (ORDEM2000)* [LMAM⁺02].

Die Modelle tragen dabei verschiedenen Mechanismen Rechnung, welche zur Population von Objekten im Orbit beitragen. Dies können z.B. sein [UN99]:

- Raketenstarts, einschließlich Raketenoberstufen und Nutzlasten;

⁸³siehe z.B. <http://www.esoc.esa.de/external/mso/debris.html> (März 2003).

- Manöver, um Überbleibsel der Zündungen von Feststofftriebwerken zu berücksichtigen;
- *Break-ups*, hervorgerufen durch Explosionen oder Kollisionen
- Materialabtragungen von Oberflächen (z.B. Farbsplitters bedingt durch Alterungseffekte);
- Material aus Leckagen (Kühlmittel von nuklearen Energiequellen);
- Verringerungen der Orbithöhe durch die Bremswirkung der Atmosphäre;
- Zurückgeholte (*Retrievals*) oder kontrolliert positionsveränderte (*Deorbiting*) Weltraumobjekte;
- Fragmentierung von Raumfahrkörpern.

Die zur Beschreibung von Weltraumobjekten verwendeten Modelle können sowohl deterministischer Natur (jedes Objekt wird individuell durch seine Bahnparameter und eine physikalische Beschreibung repräsentiert), als auch statistische Beschreibungen (Charakterisierung eines Ensembles von Objekten) oder eine Kombination beider Ansätze (Hybridmodelle) sein. Als Datenbasis für diese Modelle wird neben notwendigen Annahmen (z.B. Annahmen über die Anzahl zukünftiger Starts oder die Extrapolation der Zyklen der Sonnenaktivität) u.a. auch auf Daten von Messungen am Boden (z.B. *hypervelocity collisions*) oder im Weltraum zurückgegriffen. Im *engineering model ORDEM2000* sind dies [LMAM⁺02]:

- Daten des *Space Surveillance Network Catalog (SSN Catalog)*,
- Meßdaten der Radarsensoren *Haystack*, *Haystack Auxiliary (HAX) Radar* und *Goldstone Radar*,
- Daten aus Kollisionsexperimenten [*Long-Duration Exposure Facility (LDEF)*, *European Retrievable Carrier (EuReCa)*, Raumstation *Mir*] oder Untersuchungen von zurückgekehrten Raumfahrzeugen bzw. Gegenständen [am *Space Transportation System (STS) Orbiter* bzw. *Space Shuttle*, am Solarpanel des *Hubble Space Telescope (HST-SA impact data)* oder an der japanischen *Space Flyer Unit (SFU)*].

Das LDEF-Experiment beispielsweise wurde im April 1984 mit dem *Space Shuttle „Challenger“*⁸⁴ in einen zirkularen Orbit mit 28,5° Inklination gebracht und verblieb dort knapp sechs Jahre. Die ursprüngliche Orbithöhe betrug 480km und verringerte sich bedingt durch den atmosphärischen Widerstand auf 331km, bis es im Januar 1990 durch den *Shuttle „Columbia“*⁸⁵ wieder eingeholt wurde. LDEF war als Zylinderfläche mit einem regelmäßigen 12-Eck als Leitkurve aufgebaut, deren Teilflächen mit verschiedenen Oberflächenmaterialien versehen waren, vgl. Abb. 4.4.

⁸⁴Der *Shuttle „Challenger“* verunglückte am 28. Januar 1986 während der Startphase. Alle sieben Astronauten starben bei der Explosion.

⁸⁵Die Raumfähre *Columbia* verunglückte am 1. Februar 2003 beim Wiedereintritt in die Atmosphäre. Alle sieben Astronauten kamen ums Leben.

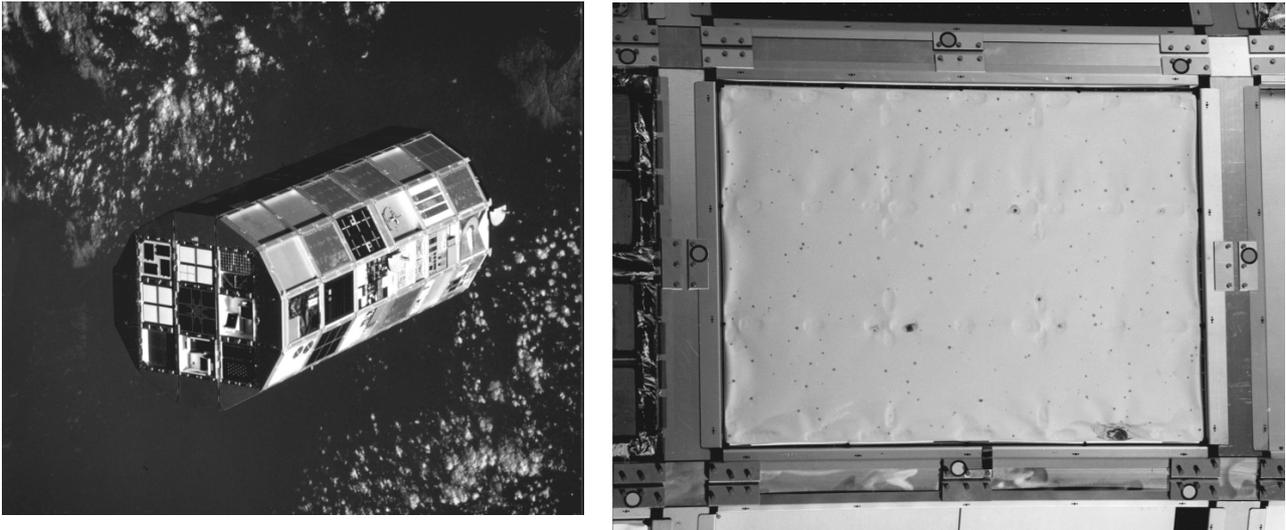


Abbildung 4.4: Illustration zur *Long-Duration Exposure Facility (LDEF)*. Die linke Abbildung zeigt ein In-Orbit-Foto der LDEF, die rechte Abbildung zeigt eine Teflon-Oberfläche mit durch Weltraumtrümmer hervorgerufenen Kratern [BRA⁺97].

Die durch Weltraumtrümmer in den Probenflächen hervorgerufenen Beschädigungen dienen u.a. als Teil der Datenbasis zur Beschreibung von Teilchen der Größe zwischen 0,001mm bis 1mm und Orbithöhen zwischen 330km und 480km. Aus Kraterdurchmesser und -position im Probenmaterial sowie Anzahl oder chemischer Zusammensetzung der Aufprallteilchen lassen sich Rückschlüsse auf die Größe und Häufigkeit von Objekten im Weltraum ziehen, ebenso über deren Geschwindigkeiten und räumliche Verteilung. Tab. 4.4 gibt an, welche Teilchengrößen und welche Höhen und Inklinationen durch die dem Modell ORDEM2000 zugrunde liegenden Messexperimente überdeckt werden.

„Experiment“	Teilchengrößen (<i>Size Range</i>)	Höhen [km] (<i>Altitude Range</i>)	Inklination [Grad] (<i>Incl. Range</i>)	Zeitraum der Datenerhebung
SNN	10cm - 10m	200 - 2000	All	up to Dec. 99
Haystack	0.3cm - 10m	350 - 1100	40 to 140	91 to 99
	0.5cm - 10m	350 - 650	28 - 152	91 to 99
	0.5cm - 10m	350 - 650	32 - 148	91 to 94
	0.5cm - 10m	700 - 1100	32 - 148	94 to 98
	1.0cm - 10m	1200 - 2100	40 - 140	93, 94, 96, 97
HAX	1.0cm - 10m	450 - 1050	40 - 140	94 to 97
	0.8cm - 10m	450 - 1050	40 - 140	98 to 99
LDEF	0.01mm - 1mm	330 - 480	All	Ap. 84 to Jan. 90
HST-SA	0.01mm - 1mm	586 - 614	All	Apr. 90 to Dec. 93
EuReCa	0.005mm - 0.5mm	502 - 508	All	Aug. 92 to Dec. 93
Shuttle	0.1mm - 1mm	300 - 400	All	Aug. 92 to Jun. 93
SFU	10 μ m - 1mm	480	All	Mar. 95 to Jan. 96
Mir	10 μ m - 100 μ m	170 - 300	All	Mar. 96 to Oct. 97
Goldstone	2mm - 2cm	280 - 2000	32 - 148	Oct. 94 to Oct. 98

Tabelle 4.4: Datenquellen im Modell ORDEM2000, aus [LMAM⁺02].

Aussagen, die anhand von verschiedenen Modellen gewonnen werden können, zeigt Abbildung

4.5 exemplarisch. Sie beinhaltet neben einer Abbildung zur Lebens- bzw. Verweildauer von Trümmern im Orbit ein Ergebnis einer Modellrechnung zum Kollisionsrisiko des Hubble Weltraumteleskops mit Meteoriten größer als $10\mu\text{m}$. Zudem ist beispielhaft das Ergebnis eines mit ORDEM2000⁸⁶ bestimmten Teilchenflusses (*'cross-sectional flux'* für ein Raumfahrzeug mit einem dem der Internationalen Raumstation (ISS) ähnlichen Orbit (zirkularer Orbit von 400km Höhe; $51,6^\circ$ Inklination) in 2003 dargestellt. Mit dem *engineering model* ORDEM2000 lassen sich Vorhersagen über zu erwartende Meßdaten bei Bodenmessungen (*'debris detection rates for ground based sensors'*) oder über zu erwartende Teilchenraten in bestimmten Orbits treffen.

⁸⁶Die Beschreibung [LMAM⁺02] sowie das Programm sind erhältlich unter <ftp://jsc-sn-io.jsc.nasa.gov/Anonymous/SpaceScience/DocRepo/Download/ORDEM2000>

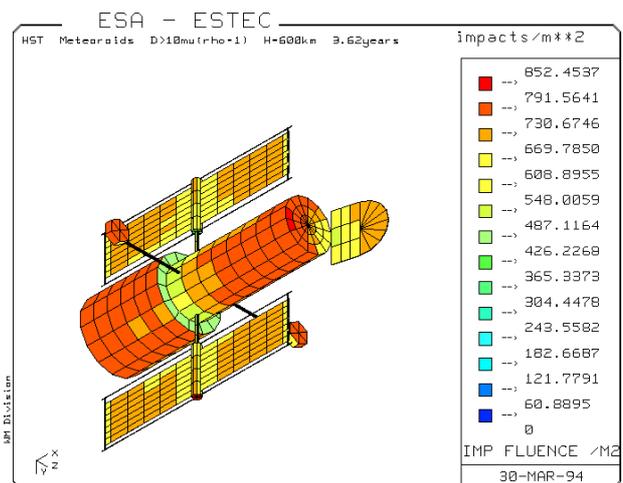
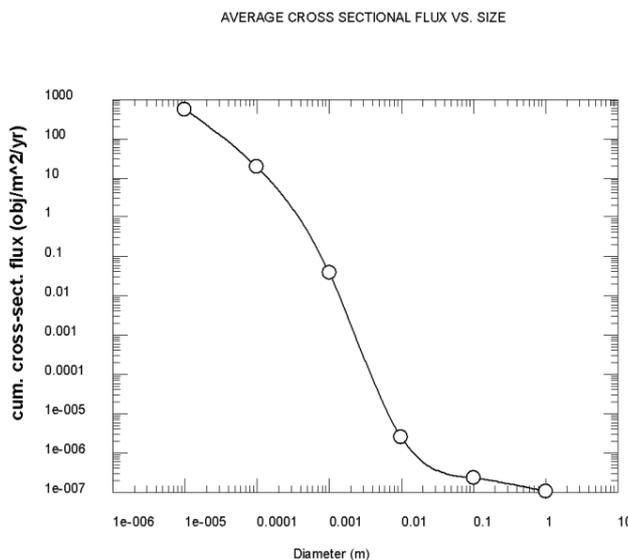
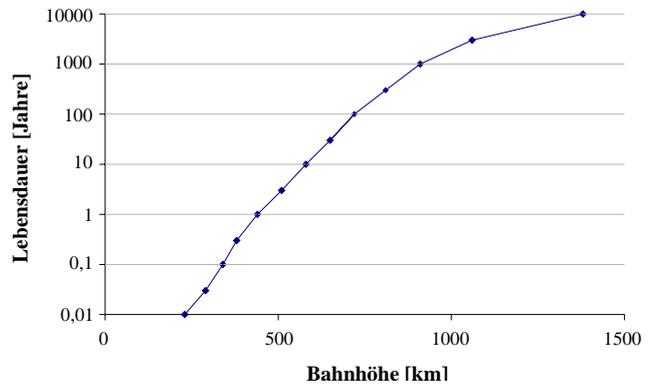
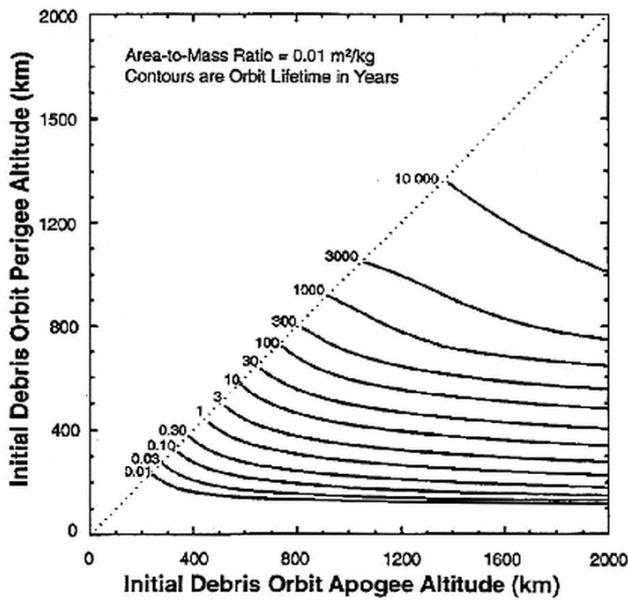


Abbildung 4.5: Modellergebnisse zur Beschreibung von Weltraumobjekten (Beispiele).
 Oben, links: Orbit-Lebensdauer von Weltraumtrümmern, welche in einem niedrigen Orbit geringer Exzentrizität freigesetzt wurden. Die gepunktete Linie kennzeichnet kreisförmige Orbits verschiedener Höhe, die Konturen kennzeichnen ausgewählte Lebensdauern in Jahren. Eine einzelne Konturlinie kennzeichnet eine feste Orbit-Lebensdauer für verschiedene Orbitgeometrien (unterschiedliche Kombinationen von Höhen des Apogäum/Perigäum). Strahlungsdruck-Effekte wurden in den Berechnungen vernachlässigt. [NAS95]
 Die rechte obere Abbildung wurde anhand der linken oberen Abbildung erstellt. Sie zeigt exemplarisch die Lebensdauer bei kreisförmigen Umlaufbahnen.
 Unten, links: *cross-sectional flux* für ein Raumfahrzeug mit einem dem der Internationalen Raumstation (ISS) ähnlichen Orbit (zirkularer Orbit von 400km Höhe; 51,6° Inklination) im Jahr 2003. Die Berechnung erfolgte mit ORDEM2000.
 Unten, rechts: Beispielergebnis des ESABASE/DEBRIS-Tools. Gezeigt ist die vorhergesagte Anzahl von Einschlägen pro m² von Meteoriten größer als 10µm für das Hubble Weltraumteleskop (HST). Die Zahlen beziehen sich auf einen Zeitraum von 3,62 Jahren, vom Start des HST bis zum Einholen des *Solar Arrays* im Dezember 1993 [Bildquelle: www.estec.esa.nl/wmwww/wma/R_and_D/antool.html (März 2003)].

4.3.3 Schutzmaßnahmen

Grundsätzlich kann man Raumfahrzeuge vor Weltraumtrümmern schützen, indem man die Raumfahrzeuge mit einem Schutzschild versieht oder versucht, eine Kollision durch ein Ausweichmanöver zu vermeiden. Schutzschilde können Teilchen bis zu einer Größe von etwa 1cm abwehren, als vorteilhaft haben sich dabei Mehrschichtschilde (*Whipple shields*) erwiesen. Zur Illustration siehe Abb. 4.6.

Abbildung 4.6: Illustration von und zur Wirkungsweise von Mehrschichtschilden.

Shields should protect key components of the International Space Station from most objects too small to track but large enough to puncture station walls. These shields, unlike the „force fields“ of science fiction, are barriers mounted on the spacecraft. As the object approaches, it first encounters a sheet of aluminum (typically two millimeters thick), known as the Whipple bumper, which causes the projectile to shatter (a). The fragments are slowed by one or more layers of Kevlar (b). Finally, the fragments bounce off the spacecraft wall (c).

National Aeronautic and Space Administration, Laurie Grace.

Abbildung und Bildbeschreibung aus [Pri02, Presentation, Folie 23].

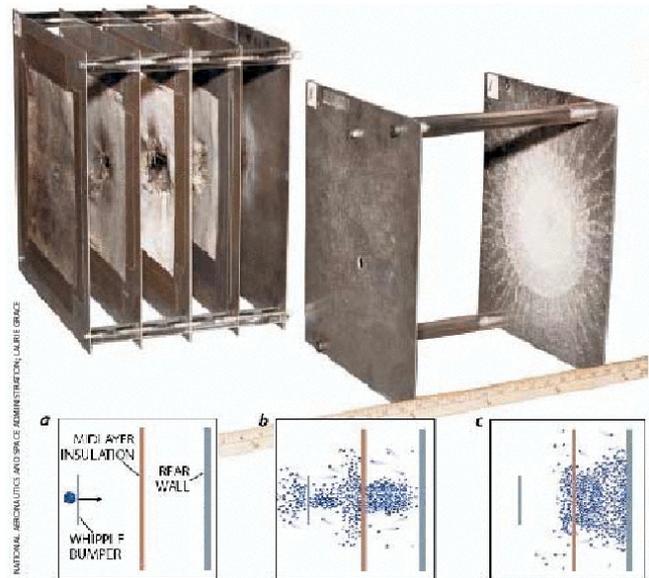
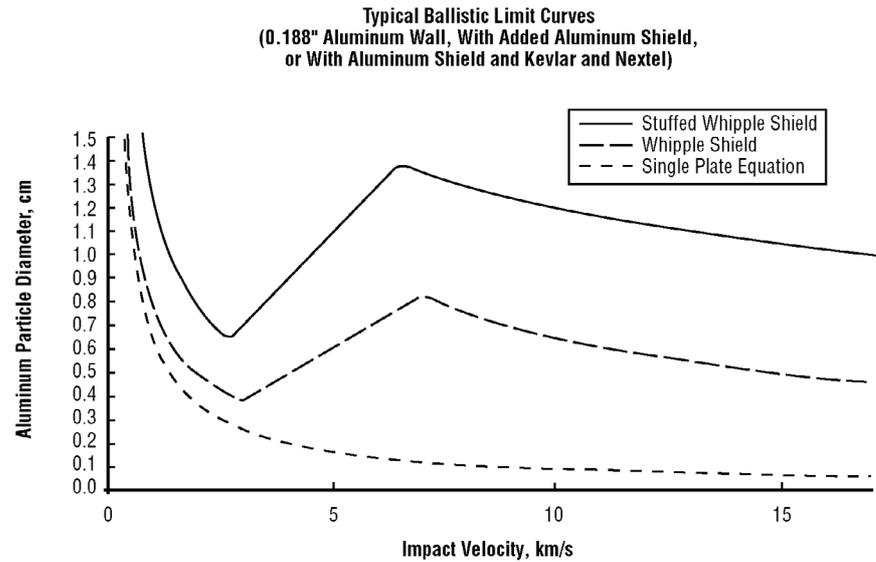


Abb. 4.7 zeigt Ergebnisse von Modellrechnungen zur Widerstandsfähigkeit von Schutzschilden gegen Weltraumtrümmer. Eine einzelne Kurve, die so genannte *ballistic limit curve*, gibt für einen gegebenen Schildtyp an, bei welcher Kombination von Partikelgröße und Geschwindigkeit eines Trümmerteils dieser dem auftreffenden Geschoss widersteht. Oberhalb der *ballistic limit curve* ist davon auszugehen, dass die gegebene Kombination von Teilchengröße und Geschwindigkeit zum Durchlagen des Schildes ausreicht. Unterhalb dieser Kurve vermag der Schild das aufprallende Teilchen zu stoppen bzw. wird nicht vollständig durchlöchert. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass selbst vermeintlich kleine Teilchen aufgrund ihrer hohen Relativgeschwindigkeit enorme Wirkungen haben können. Bei der mittleren Geschwindigkeit der Weltraumtrümmer von 10km/s genügt bereits ein Teilchendurchmesser von etwa 1mm, um einen einfachen Schild gleichen Materials (im Beispiel Aluminium) der fünffachen Wandstärke ($0,188'' \approx 0,47\text{cm}$) zu durchdringen. Allerdings ist auch der Fortschritt in der Widerstandsfähigkeit aufgrund verbesserter Schildsysteme zu vermerken. Zu beachten ist außerdem, dass zur Durchdringung eines (fortschrittlicheren) Schildes der nötige Teilchendurchmesser nicht monoton mit zunehmender Teilchengeschwindigkeit fällt. Erklärbar ist dies dadurch, dass ab einer bestimmten Aufprallgeschwindigkeit sich die Art der Wechselwirkung bzw. sich das Geschoss beim Aufprall und der Durchdringung des ersten Teilschildes verändert. Z.B. kann das Geschoss in mehrere Teilfragmente zerbrechen oder ein Teil der Energie wird in Wärme umgewandelt. Die nachfolgenden Teilschilde sind dann in der Lage, die kleineren Fragmente abzuwehren (siehe Abb. 4.6).

Trotz der Fortschritte in der Schildtechnik sind erdnahe Raumfahrzeuge bereits heute einem zunehmenden Risiko durch Weltraumtrümmer ausgesetzt. Insbesondere kleine Trümmerteile der Größe 1cm oder kleiner (ungefähre Gesamtmasse etwa 1000kg, ca. 300kg entfallen auf Teilchen

Abbildung 4.7: Modellrechnungen zur Widerstandsfähigkeit von Schutzschilden an Raumfahrzeugen. Dargestellt sind die Ergebnisse von Modellrechnungen für eine einzelne Aluminiumplatte, für einen Doppelschild (*two-plate Whipple shield*) sowie für einen Doppelschild mit einer Zwischenlage aus Nextel und Kevlar (*space station type Whipple shield*) [BRA⁺97]. Zur Beschreibung siehe Text.



kleiner als 1mm) stellen eine große Gefahr dar, da diese kaum bzw. gar nicht durch Bodenmessungen (*tracking*) zu bestimmen sind. Die Bahnparameter der einzelnen Objekte lassen sich nicht bestimmen und es kann ihnen nicht durch gezielte Manöver ausgewichen werden. Ein durchschnittlicher Kleinsatellit in einem 800km-Orbit hat bereits heute eine etwa 1-prozentige Ausfallwahrscheinlichkeit pro Jahr auf Grund solch kleinster Partikel von etwa 1mm Größe. Die Anzahl solcher Trümmerteile steigt weiter [Pri02, Paper, S. 3].

Wissenschaftler erwarten eine Zunahme an Kollisionen in den kommenden zwei Dekaden, aus welchen wiederum eine Erhöhte der Anzahl an Fragmenten im Orbit folgt. Abhängig von den Beschreibungsgrößen (z.B. Bahnparameter, Masse und Querschnitt von Fragmenten, Strahlungsdruck etc.) kann die orbitale Lebensdauer von Fragmenten bis hin zu einigen tausend Jahre betragen. Bei Objekten oberhalb 1000km Höhe sind die Zeiträume einer natürlichen Reduktion der Trümmierzahl bereits immens und eine künstliche Reduktion der Teilchenzahl („durch Einsammeln“) außerhalb des Machbaren. Weltraumschrott ist somit ein Langzeitproblem: „Die Menschheit würde bei Fortsetzung der Raumfahrt wie bisher den erdnahen Weltraum dauerhaft so überfüllen, daß er nicht mehr nutzbar ist. Es sei wegen der Unsicherheit einer solchen Prognose einmal dahingestellt, ob dieser Zustand nach 70 Jahren oder nach 130 Jahren eintritt. Daß er eintritt, ist gewiß.“ [Rex96].

Zusätzlich zum bereits bestehenden Dilemma bezüglich Weltraumtrümmern im Allgemeinen, kann eine mögliche Einführung von Weltraumwaffen die Gefährdung von Raumfahrzeugen noch erhöhen. Obwohl heute keine Waffen im Weltraum stationiert sind, so wurden doch verschiedene Waffensysteme stationiert oder getestet, die Satelliten attackieren können oder sollen⁸⁷. Auch über den möglichen Nutzen von Weltraumwaffen wurde in verschiedensten Szenarien nachgedacht. Die bereits durchgeführten Tests des russischen ASAT-Programms sowie die zu Demonstrationzwecken durchgeführte Zerstörung des „Solwind“-Satelliten durch das US-Militär hinterließen bereits hunderte Teile von (erfassbaren) Weltraumtrümmern. Einige Überreste aus den Tests sind auch noch heute zu finden. Trümmerteile können sowohl aus eigentlichen Waffe resultieren (gegen ein Ziel gerichtete Schrapnells), als auch durch die Waffenwirkung bei der Zerstörung des Ziels. Zudem entsteht Weltraumschrott zu einen gewissen Grad bei jeder

⁸⁷Z.B. nukleare Antisatellitenwaffen wie Gorgon oder Safeguard/Sentinel, ein orbitales ASAT-System oder das ALMV (vgl. Kap. 2.2). Sowohl das orbitale System als auch das ALMV wurden erfolgreich getestet, der Status beider Systeme ist nicht völlig transparent

Stationierung von Weltraumgegenständen. Kinetische ASAT-Systeme wie das vorgeschlagene „*Brilliant Pebbles*“ benötigen hunderte einzelner Satelliten und würden bereits in der Stationierungsphase eine große Mengen an Weltraumtrümmern erzeugen [Pri02, Paper, S. 4]. Ein Wafeneinsatz eines solchen Systems steigert die erzeugte Menge an Weltraumtrümmern natürlich zusätzlich.

Neben der weiteren Erzeugung von Weltraumschrott hat die Stationierung von Weltraumwaffen auch ökonomische Folgen. Die *American Physical Society* gibt in einer Studie [BFK⁺03, S. 127] an, dass zur Raketenabwehr von Raketen in der Startphase durch weltraumgestützte Interzeptoren etwa 1600 Satelliten nötig wären. Die Masse für eine solche Konstellation wurde zu etwa 2000t bestimmt. Zur Stationierung eines solchen Systems wäre eine Steigerung der derzeitigen Startkapazitäten der USA um das Fünf- bis Zehnfache nötig. Unter einer Kostenannahme von derzeit etwa US\$ 22000 pro Kilogramm für eine Stationierung von Gegenständen im LEO wäre bereits nur die Stationierung eines solchen Systems mit Kosten von etwa US\$ 44 Mrd. verbunden (zzgl. Entwicklung, Bau, Wartung etc.).

4.4 Modellrechnungen zu kinetischen Weltraumwaffen

In amerikanischen Strategiedokumenten werden im Kontext möglicher Bedrohungen für Satellitensysteme auch „besorgniserregende Staaten“ oder substaatliche Akteure genannt. Dabei wird auch die Möglichkeit eines direkten Angriffs auf Satelliten nicht ausgeschlossen (vgl. auch Kap. 3.1.1 und Kap. 4.1). Nicht näher ausgeführt wird, ob ein solcher Angriff durch einen solchen potenziellen Gegner hinreichend motiviert ist/werden kann, oder ob ein solcher Akteur zu einem Angriff auf einen Satelliten überhaupt technisch fähig ist. Der Frage nach einer möglichen Realisierbarkeit eines Angriffs auf Satelliten wird im Folgenden mit Hilfe von Modellrechnungen nachgegangen. Bei von den USA propagierten potenziellen Gegner ist i.d.R. davon auszugehen, dass diese im Vergleich zu den USA oder anderen Raumfahrt treibenden Nationen über weniger technisch fortentwickelte Mittel verfügen. Ausgegangen wurde in den Modellrechnungen von einem Akteur, der im Besitz von Kurz- oder Mittelstraketen ist.

Eine effektive und kostengünstige Weltraumwaffe könnte im Falle eines solchen Akteurs in Form einer gezielten Freisetzung einer größeren Trümmerwolke gesehen werden, um einen Satelliten oder ein Satellitensystem in einer niedrigen Umlaufbahn zu zerstören⁸⁸.

Zur Beschreibung einer möglichen Gefährdung von Satelliten durch kinetische Anti-Satellitenwaffen seitens „weniger“ technisch fortentwickelten Akteuren wurde ein Raketenmodell entwickelt. Dieses basiert auf physikalischen Annahmen erster Ordnung und wurde auch zu Analysen im Bereich des *Airborne-Lasers* verwendet⁸⁹. Im Rahmen dieses Projektes wurde das Modell zur Bewertung eines Szenarios genutzt, in welchem (Metall-)Kugeln in die Bahn eines Satelliten gebracht werden sollen, um diesen durch Kollision zu schädigen oder zu zerstören. Dieses Szenario ist in Abb. 4.8 skizziert und wird im Folgenden mit „Schrottwolken-Szenario“ (auch „*basket of pellets*“) benannt.

Die Modellrechnungen sollen zeigen, ob bzw. inwieweit ein solches Szenario mit einfachen Mitteln realisierbar ist – also auch durch nicht Raumfahrt treibende, staatliche oder substaatliche Akteure⁹⁰, die über Kurz- oder Mittelstreckenraketen verfügen. Das Raketenmodell dient dazu,

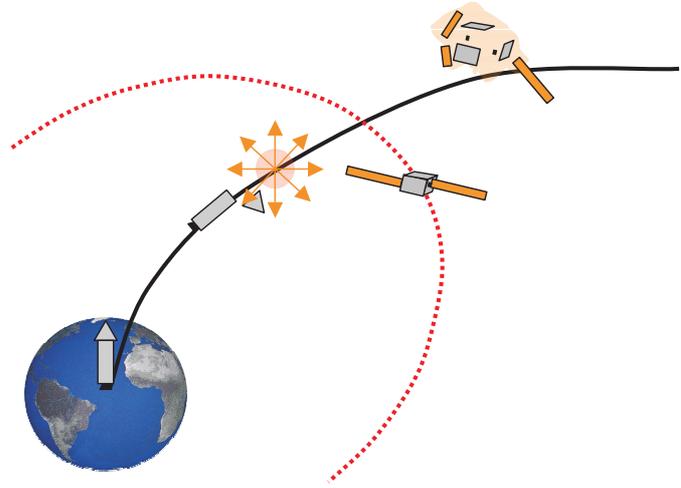
⁸⁸Als *worst case* vorstellbar wäre, dass die ausgebrachte Trümmerwolke, zusammen mit den Fragmenten aus der Kollision mit dem Ziel, die Fragmentierung von bereits vorhandenem Weltraumschrott befördern könnte. Existierende Satelliten im LEO wären dann noch weiter gefährdet und niedrige Erdorbits könnten für eine – zeitlich mehr oder weniger – begrenzte Dauer von einer Verwendbarkeit ausgeschlossen sein.

⁸⁹Zur Studie im Themenfeld ABL siehe [MR04, MRN04].

⁹⁰Die Realisierbarkeit der Zerstörung von Satelliten durch Trümmerwolken seitens einer Raumfahrt treibenden

Fragen nach der möglichen Reichweite (bzw. den erreichbaren Höhen) verschiedener Raketen, dem Aussehen der Nutzlast und der daraus resultierenden Gefährdung verschiedener Satellitentypen abzuleiten.

Abbildung 4.8: Illustration des angenommenen Szenarios. Eine Rakete trägt eine zu einem großen Teil aus kleinen Kugeln (*pellets*) bestehende Nutzlast in den Weltraum, durch die eine Schrottwolke erzeugt wird. Wenn die Bahn eines Zielsatelliten die Wolke durchquert, kann dieser ggf. durch Kollision mit einem *pellet* geschädigt oder zerstört werden.



Das Modell, sowie die bei den Modellrechnungen verwendeten Annahmen bzgl. der Trägersysteme, der wirkenden Kräfte und der verwendeten Nutzlasten sowie resultierende Modellergebnisse werden im Folgenden näher beschrieben.

4.4.1 Allgemeine Modellbeschreibung

Die Funktionsweise des Raketenmodells ist in Abb. 4.9 schematisch dargestellt. Basierend auf technischen Kenngrößen einer Rakete (Raketendaten wie z.B. Raketenmasse, Durchmesser, Massenfluss des Treibstoffs oder Brenndauer) und den auf die Rakete wirkenden Kräften (z.B. Gravitation oder Schubrichtung) kann die Raketentrajektorie in Abhängigkeit von der Zeit berechnet werden. Diese lässt sich mit verschiedenen Szenarien kombinieren, abhängig von der zu untersuchenden Fragestellung. Im Falle des „Schrottwolken-Szenarios“ sind dies z.B. Annahmen bzgl. der Art der verwendeten Nutzlast. Die daraus resultierenden Ergebnisse des Modells können z.B. die erreichbare Höhe eines Raketentyps, die Verweildauer von Objekten im Orbit oder auch die Abfangzeitpunkte von Raketen in der Startphase sein.

4.4.2 Modellierung der Raketentrajektorie

Die Berechnung von Raketentrajektorien erfolgt rechnergestützt im Halbschrittverfahren. Wir nehmen an, dass sich die auf die Rakete wirkende Kraft \vec{F}_{Ges} aus den drei Teilkräften Gravitation \vec{F}_{Grav} , Raketenschub \vec{F}_{Schub} und Luftwiderstand \vec{F}_{Luft} zusammensetzt⁹¹:

$$\vec{F}_{\text{Ges}} = \vec{F}_{\text{Grav}} + \vec{F}_{\text{Luft}} + \vec{F}_{\text{Schub}} \quad . \quad (4.1)$$

Nation ist durch das Jagdsatellitensystem IS der ehem. UdSSR bereits demonstriert worden, vgl. auch Seite 4.

⁹¹Die im Modell verwendeten Näherungen reichen für die angestrebte Abschätzung aus. Abhängig von einer speziellen Fragestellung kann es durchaus nötig sein, deutlich umfangreichere Annahmen zu treffen. Beispielsweise sind für die Modellierung der Dispersion von Weltraumtrümmern im Orbit u.a. eine Beschreibung der Abweichungen des Gravitationspotentials von der idealen Kugelsymmetrie (sog. Störungsrechnung) oder eine Beschreibung des Strahlungsdrucks der Sonne nötig. Betrachtungen zur Dispersion von Trümmerteilen sind beispielsweise in [WD04] zu finden.

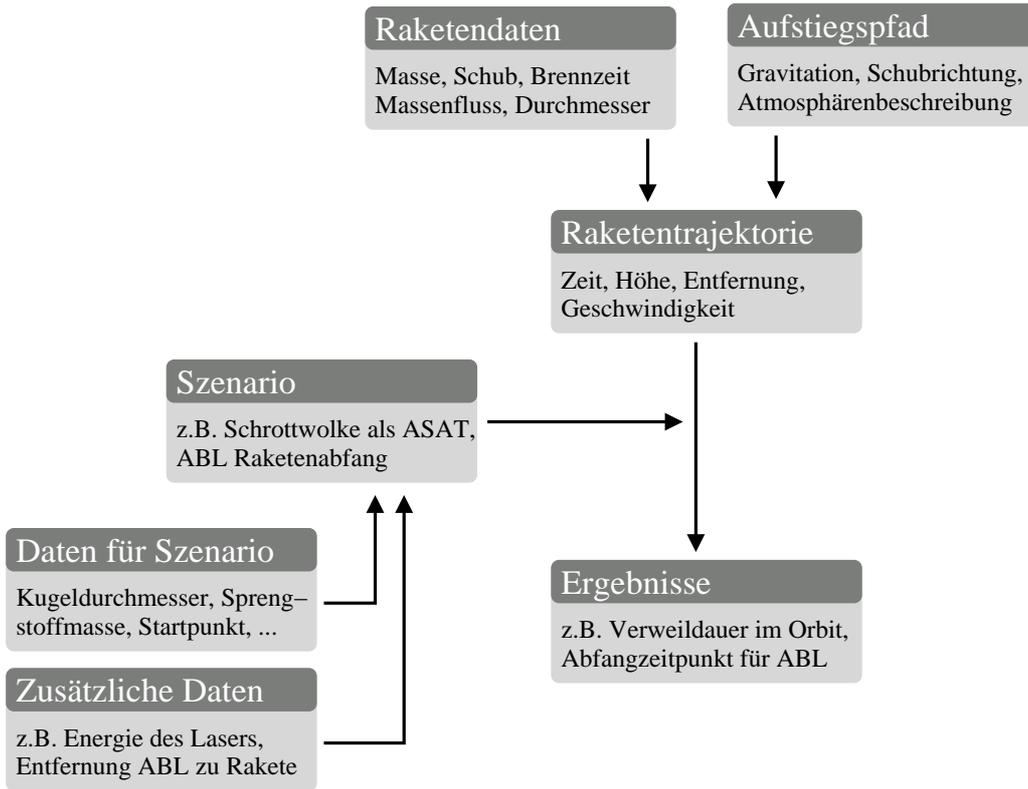


Abbildung 4.9: Schematische Darstellung zum Raketenmodell, siehe auch Text.

Ausgehend vom Startzeitpunkt (bei $t_0 = 0$) werden die auf die Rakete wirkenden Kräfte $\vec{F}(t)$ bestimmt. Anhand der durch diese gegebenen Beschleunigungen wird die resultierende Bewegung der Rakete für einen infinitesimalen Zeitschritt $\Delta t \ll 1\text{s}$ und somit Ort $\vec{x}_{\text{Rakete}}(t')$ und Geschwindigkeit $\vec{v}_{\text{Rakete}}(t')$ der Rakete zum Zeitpunkt $t' = t + \Delta t$ berechnet:

$$\vec{v}_{\text{Rakete}}(t') = \vec{v}_{\text{Rakete}}(t) + \frac{\vec{F}_{\text{Ges}}}{m(t)} \cdot \Delta t \quad (4.2)$$

und

$$\vec{x}_{\text{Rakete}}(t') = \vec{x}_{\text{Rakete}}(t) + \vec{v}_{\text{Rakete}}(t') \cdot \Delta t \quad , \quad (4.3)$$

wobei $m(t)$ die Masse der Rakete zum Zeitpunkt t bezeichnet.

Nach der Neubestimmung der auf die Rakete zum Zeitpunkt t' wirkenden Kräfte wird die Berechnung iterativ bis zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt t_i wiederholt (z.B. bis zum Brennschluss der Rakete oder deren Einschlag auf dem Boden).

Die einzelnen auf die Rakete wirkenden Kräfte werden wie folgt beschrieben. Die Gravitation wird durch die klassische Newton'sche Gravitation (siehe z.B. [AF98]) beschrieben, d.h. die Erde wird als homogene Kugel angenähert und Störungen im Gravitationsfeld werden vernachlässigt. Die Gravitationskraft \vec{F}_{Grav} ist dann gegeben durch

$$\vec{F}_{\text{Grav}} = -\gamma \frac{mm_{\text{Erde}}}{r^2} \cdot \vec{e}_r \quad , \quad (4.4)$$

mit der Gravitationskonstanten γ , der Raketenmasse m , der Masse der Erde m_{Erde} , dem Betrag der Entfernung zwischen Rakete und Erdmittelpunkt r und dem Einheitsvektor $\vec{e}_r = \vec{r}/|\vec{r}|$ (hier in Kugelkoordinaten). Man beachte, dass sich die im Allgemeinen geläufigere Höhe h_{Rakete} der Rakete über dem Erdboden erst durch Subtraktion des Erdradius ergibt: $h_{\text{Rakete}} = r - r_{\text{Erde}}$.

Der Luftwiderstand \vec{F}_{Luft} wird beschrieben durch

$$\vec{F}_{\text{Luft}} = -\frac{1}{2}c_w \cdot \rho_{\text{ATM}}(h_{\text{Rakete}}) \cdot A_{\text{Rakete}} \cdot v_{\text{Rakete}}^2 \cdot \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \quad (4.5)$$

Darin bezeichnen c_w den Luftwiderstandsbeiwert der Rakete, ρ_{ATM} die Dichte der Atmosphäre in der Höhe h_{Rakete} der Rakete, A_{Rakete} die Querschnittsfläche der Rakete und v den Betrag der Raketengeschwindigkeit in Richtung $\vec{v}/|\vec{v}|$. Im Gegensatz zu der Annahme einer laminaren Umströmung eines Körpers (Kraft $\propto v$, vgl. [AF98]) wurde die Kraft proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit des Körpers angenommen. Die Kraft wirkt entgegengesetzt der Bewegungsrichtung der Rakete.

Die Kraft durch den Schub der Rakete \vec{F}_{Schub} wird durch die „Raketengleichung“ beschrieben [SB01, S. 32] :

$$\vec{F}_{\text{Schub}} = \left(\frac{dm}{dt} v_{\text{spec}} + (p_{\text{nozzle}} - p_{\text{ATM}}(h_{\text{Rakete}})) A_{\text{nozzle}} \right) \cdot \vec{e}_{\text{Schub}} \quad (4.6)$$

dm/dt bezeichnet den Massenfluss, v_{spec} die spezifische Geschwindigkeit des Treibstoffs (relativ zur Rakete), p_{nozzle} den Druck am Düsenausgang (*nozzle exit pressure*), $p_{\text{ATM}}(h_{\text{Rakete}})$ den atmosphärischen Druck als Funktion der Höhe der Rakete und A_{nozzle} die Querschnittsfläche am Düsenausgang. \vec{e}_{Schub} gibt die Schubrichtung an (siehe auch Kap. 4.4.3). Im Modell werden Massenfluss und spezifische Geschwindigkeit als zeitlich konstant angenommen, das Produkt der beiden liefert den Hauptbeitrag in der Raketengleichung.

Die in den Gleichungen 4.5 und 4.6 nötigen Größen zur Beschreibung der Atmosphäre werden durch die Annahme einer Referenzatmosphäre beschrieben. Die Atmosphärenbeschreibung besteht aus drei Bereichen mit separaten Beschreibungen für die Troposphäre sowie die untere und obere Stratosphäre. Die Größen Druck p_{ATM} , Temperatur T_{ATM} und Dichte ρ_{ATM} werden bei dieser in den verschiedenen Höhenebenen als Funktion der Höhe h wie folgt bestimmt:⁹²

Höhen zwischen 0 und 11km („Troposphäre“):

$$T_{\text{ATM}}(0 < h \leq 11) = 15,04 - 0,00649 \cdot h + 273,1 \quad (4.7)$$

$$p_{\text{ATM}}(0 < h \leq 11) = 101,29 \cdot (T(h)/288,08)^{5,256} \quad (4.8)$$

Höhen zwischen 11 und 25km („untere Stratosphäre“):

$$T_{\text{ATM}}(11 < h \leq 25) = -56,46 + 273,1 \quad (4.9)$$

$$p_{\text{ATM}}(11 < h \leq 25) = 22,65 \cdot \exp(1,73 - 0,000157 \cdot h) \quad (4.10)$$

Höhen über 25km („obere Stratosphäre“)⁹³:

$$T_{\text{ATM}}(25 < h) = -131,21 + 0,00299 \cdot h + 273,1 \quad (4.11)$$

$$P_{\text{ATM}}(25 < h) = 2,488 \cdot (T(h)/216,6)^{-11,388} \quad (4.12)$$

Die Angabe für die Temperatur T erfolgt in Kelvin und die des Drucks p in kPa⁹⁴.

⁹²Einzelheiten zur Atmosphäre finden sich auf der Internetpräsenz der *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* unter <http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/atmosmet.html> (Mai 2004).

⁹³In der Regel begrenzt auf Höhen bis zu 40km – 80km.

⁹⁴Anmerkung: 1 kPa = 10 hPa = 10 mbar.

Die atmosphärische Dichte bestimmt sich in allen Fällen aus den Größen Temperatur und Druck nach

$$\rho_{\text{ATM}}(h) = \frac{p_{\text{ATM}}}{r_l \cdot T_{\text{ATM}}(h)} \quad , \quad (4.13)$$

wobei r_l die individuelle Gaskonstante von Luft ($= 286 \text{ J}/(\text{kg K})$) bezeichnet⁹⁵. Die Verläufe von Druck, Temperatur und Dichte als Funktion der Höhe sind in Abb. 4.10 dargestellt.

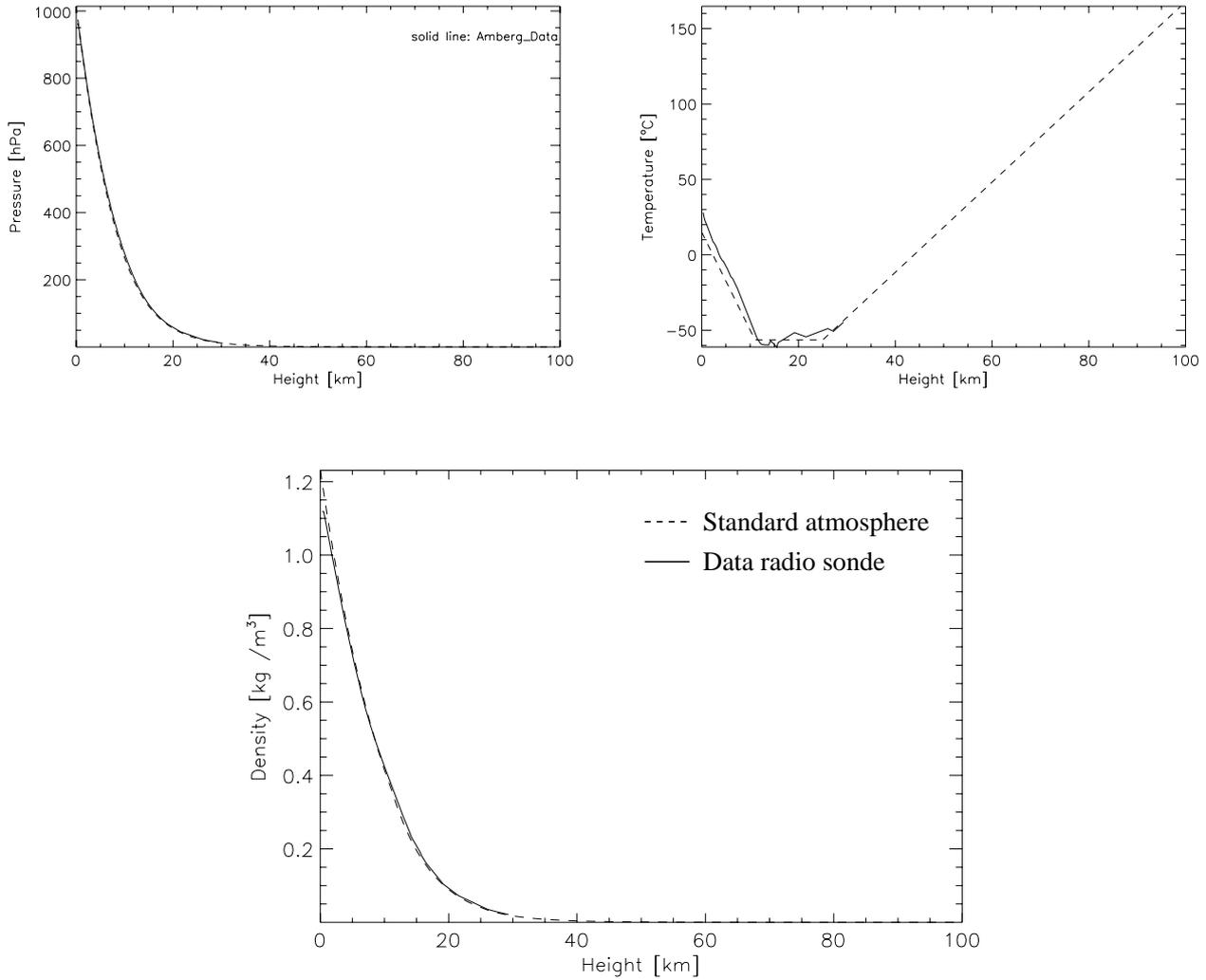


Abbildung 4.10: Zur Atmosphärenbeschreibung. Die für das Raketenmodell nötigen atmosphärischen Größen Druck p_{ATM} und Dichte ρ_{ATM} werden mittels einer Standardatmosphäre beschrieben (gestrichelte Linien). Die Abbildung links oben zeigt den resultierenden Druckverlauf als Funktion der Höhe, rechts oben ist der angenommene Temperaturverlauf dargestellt. Die aus Druck- und Temperaturverlauf bestimmte Dichte als Funktion der Höhe zeigt die untere Abbildung. Zum Vergleich sind zudem Daten bis zu einer Höhe von 30km eines Radiosondenaufstiegs in Amberg (60km östlich von Nürnberg) aus dem August 1997 dargestellt (durchgezogene Linie).

Die Atmosphärenbeschreibung wird häufig nur für Angaben bis zu einer Höhe von 30km (gelegentlich bis zu 80km Höhe) verwendet, wurde im Raketenmodell dennoch zur Beschreibung

⁹⁵ Anmerkung: $\text{J}/(\text{kg K}) = \text{N m}/(\text{kg K}) = \text{N m}^3 / (\text{m}^2 \text{ kg K}) = \text{Pa m}^3 / (\text{kg K})$, d.h. bei der Angabe von T in [K] und p in [kPa] ist $r_l = 0,286 \text{ kPa m}^3/(\text{kg K})$ zu wählen, damit ρ in $[\text{kg}/\text{m}^3]$.

aller Höhen verwendet. Der dadurch bedingte große Anstieg der Temperatur mit zunehmender Höhe wird mit Blick auf die mit der Höhe exponentiell abfallenden Größen Druck bzw. Dichte als vernachlässigbar angesehen. Ein Vergleich mit Werten der „US Standard Atmosphäre 1976“ [NOA76] bzw. der „COSPAR International Reference Atmosphere, 1961“ [Zom90, S. 238] ist in Tab. 4.5 gegeben.

Höhe [km]	Dichte [kg / m ³]			Höhe [km]	Dichte [kg / m ³]		
	Gl. (4.13)	US Standard	COSPAR		Gl. (4.13)	US Standard	COSPAR
0	1,2e+00	1,2e+00	-	250	1,0e-09	6,1e-11	1,3e-10
10	4,2e-01	4,1e-01	-	300	1,5e-10	1,9e-11	4,0e-11
20	8,9e-02	8,9e-02	-	400	6,4e-12	2,8e-12	6,3e-12
30	1,8e-02	1,8e-02	-	500	5,3e-13	5,2e-13	6,3e-13
40	3,9e-03	4,0e-03	-	600	6,6e-14	1,1e-13	-
50	1,0e-03	1,0e-03	-	700	1,1e-14	3,1e-14	-
100	6,0e-06	5,6e-07	4,0e-07	800	2,4e-15	1,1e-14	-
150	1,6e-07	2,1e-09	5,0e-09	1000	1,7e-16	3,6e-15	-
200	9,9e-09	2,5e-10	5,0e-10				

Tabelle 4.5: Vergleich der Dichte verschiedener Referenzatmosphären. Die Zahlen der US Standard Atmosphäre [NOA76] wurden mit dem Programm „ussa1976“ von [Pie99] berechnet. Die Daten der COSPAR International Reference Atmosphere, 1961, entstammen einem Graphen aus [Zom90, S. 238]. Diesem konnten nur Angaben für Höhen zwischen 100km und 500km entnommen werden.

4.4.3 Annahmen zur Beschreibung der Raketen

Im Modell werden die Raketen unter zur Hilfenahme von realen Raketendaten (militärisch) beschrieben. Die Modellrechnungen können für eine einstufige Rakete oder für eine mehrstufige Rakete durchgeführt werden. Die Repräsentation der einstufigen Rakete erfolgte unter Verwendung von Daten des Raketentyps „Nodong“, als mehrstufige Rakete wurden Daten einer zweistufigen Rakete des SS-9-Typs verwendet. Die Daten der Nodong-Rakete wurden anhand der ersten Raketenstufe des „Tae’po-dong“-Trägersystems abgeleitet, Daten des SS-9-Typs wurden anhand von Informationen über die „R-36-O/SS-9 Mod 3“-Rakete bestimmt. Die verwendeten Daten sowie die zusätzlich berechneten und angenommenen Parameter zeigt Tabelle 4.6.

Der Aufstiegsfad der Rakete wird durch Annahmen über die Schubrichtung der Rakete festgelegt. Das Raketenmodell bietet dazu prinzipiell die Möglichkeit der Beschreibung der Schubrichtung als Funktion der Zeit oder Höhe (für Einzelheiten siehe [MRN04]). In den hier vorgestellten Modellrechnungen wurde die Schubrichtung dergestalt angenähert, dass sich die Rakete unter einem konstanten Winkel θ fortbewegt, zur Illustration siehe Abb. 4.11. D.h. der zur Kompensation der Gravitationskraft nicht benötigte Anteil der Schubkraft wurde so ausgerichtet, dass der resultierende Geschwindigkeitsvektor der Rakete einen festen Winkel θ mit der Oberflächennormalen des Startpunktes bildet. Nach dem Brennschluss der letzten Raketenstufe folgt die Rakete einer ballistischen Flugbahn.

Typ		Lauf 1	Lauf 2
Einstufige Rakete (ähnlich „Nodong“)	<i>Fueled/dry weight</i>	25000 kg / 3733 kg	25000 kg / 3733 kg
	Payload	700 kg	1000 kg
	<i>Brenndauer</i>	95 s	95 s
	<i>Vakuum-Schub</i>	58872 kgf	58872 kgf
	<i>Raketendurchmesser</i>	1,8 m	1,8 m
	<i>Massenfluss dm/dt</i>	233,86 kg/s	233,86 kg/s
	<i>v_{Schub}</i>	2579,85 m/s	2579,85 m/s
	<i>$A_{\text{Rakete}} = A_{\text{nozzle}}$</i>	2,545 m ²	2,545 m ²
	<i>C_w</i>	0,5	0,5
		1ste Stufe	2te Stufe
Zweistufige Rakete (ähnlich „SS-9“)	<i>Fueled/dry weight</i>	125000 kg / 8500 kg	48000 kg / 5000 kg
	Payload	-	3000 kg
	<i>Brenndauer</i>	120 s	160 s
	<i>Vakuum-Schub</i>	270000 kgf	97484 kgf
	<i>Raketendurchmesser</i>	3 m	3 m
	<i>Massenfluss dm/dt</i>	970 kg/s	268,75 kg/s
	<i>v_{Schub}</i>	2728,27 m/s	2728,27 m/s
	<i>$A_{\text{Rakete}} = A_{\text{nozzle}}$</i>	7,067 m ²	7,067 m ²
	<i>C_w</i>	0,5	0,5

Tabelle 4.6: Verwendete Raketenparameter im Modell (Beispielwerte). Es sind sowohl eine einstufige als auch eine mehrstufige Rakete (hier zweistufig) im Raketenmodell repräsentiert. Daten der Nodong-Rakete wurden anhand der ersten Raketenstufe des „Tae’po-dong“-Trägersystems abgeleitet, Daten des SS-9-Typs wurden anhand von Informationen über die „R-36-O/SS-9 Mod 3“-Rakete bestimmt. Nicht-kursiv dargestellt sind angenommene bzw. aus bekannten Größen berechnete Werte. Die kursiv dargestellten Angaben entstammen [Astronautix Homepage: <http://www.astronautix.com>; „World Missile Chart“, 2003, Carnegie Non-Proliferation Project, <http://www.ceip.org/files/projects/npp/resources/ballisticmissilechart.htm>; Nuklear Forces Guide: R-36 /SS-9 SCARP, 2000, Federation of American Scientists Homepage: <http://www.fas.org/nuke/guide/russia/icbm/r-36.htm> (1. August 2003, alle URLs)].

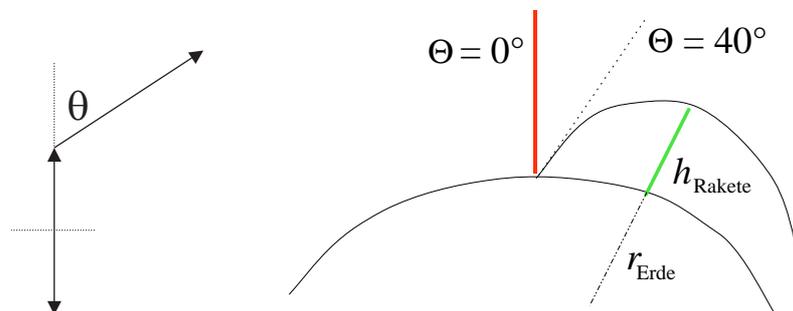


Abbildung 4.11: Illustration zur Schubrichtung. Der zur Kompensation der Gravitationskraft nicht benötigte Anteil der Schubkraft wurde so ausgerichtet, dass der resultierende Geschwindigkeitsvektor der Rakete einen festen Winkel mit der Oberflächennormalen des Startpunktes bildet (Abbildung links). Nach Brennschluss der Rakete folgt diese einer ballistischen Flugbahn.

4.4.4 Modellergebnisse 1: Erreichbare Höhen und Geschwindigkeiten der Raketen

Für die beiden Raketentypen (vgl. Tab. 4.6) wurden erreichbare Höhen und Geschwindigkeiten modelliert. Abb.4.12 zeigt exemplarisch die zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Start (Start bei $t = 0$) erreichten Höhen bei senkrechtem Flugpfad (Raketenaustieg parallel zur Oberflächennormalen). Für den einstufigen Raketentyp wurden Nutzlasten von 700kg bzw. 1000kg angenommen. Es ist zu erkennen, dass der einstufige Raketentyp bei einer Nutzlast zwischen

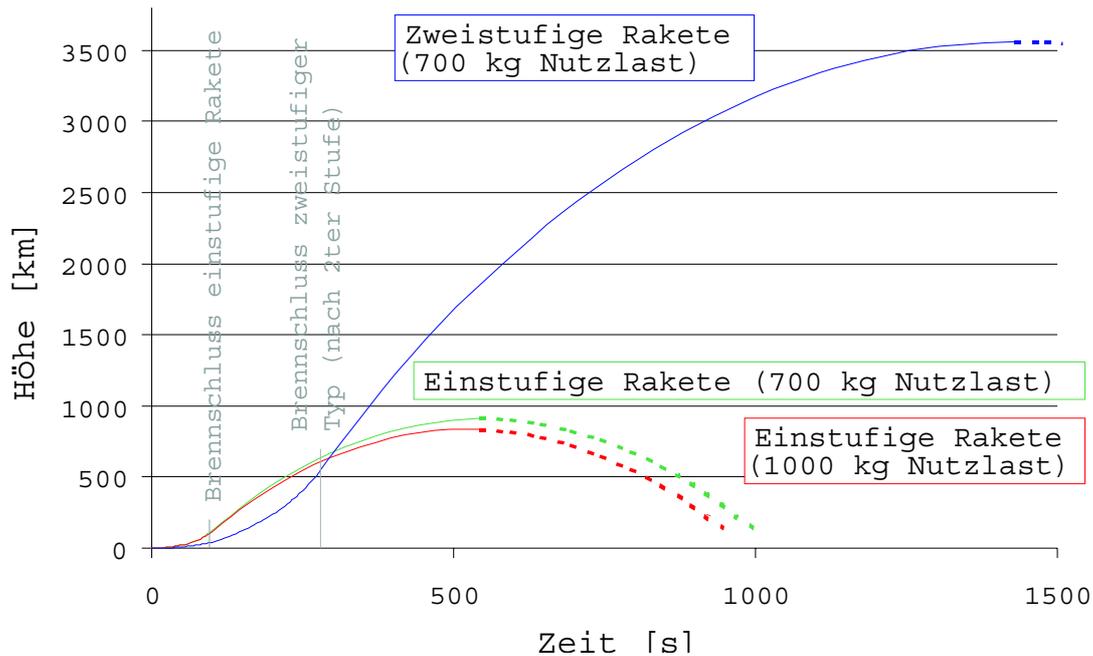


Abbildung 4.12: Erreichbare Höhen der angenommenen Raketentypen bei senkrechtem Flugpfad als Funktion der Zeit (Start bei $t = 0$).

700kg und 1000kg Höhen zwischen etwa 800km bis 900km erreichen kann. Der zweistufige Raketentyp erreicht bei einer Nutzlast von 700kg eine maximale Höhe von etwa 3500km. Man beachte die benötigten Zeiten zum Erreichen der Maximalhöhe von etwa 500s bzw. 1500s.

Die Abbildungen 4.13 und 4.14 zeigen Ergebnisse von Modellrechnungen für den zweistufigen Raketentyp, bei welchen neben der Nutzlast auch der Startwinkel θ der Rakete (vgl. Abb.4.11) variiert wurde. Als Startwinkel wurden Werte von $\theta = 0^\circ; 20^\circ; 40^\circ$ gewählt, die Masse der Nutzlast wurde im Bereich von 50kg bis 3450kg bei einer Schrittweite von 100kg variiert.

In den Plots der Abbildung 4.13 sind die erreichbaren Höhen und Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Masse der Nutzlast dargestellt. Die erste Spalte zeigt die erreichten Höhen, die zweite Spalte der Abbildung die erreichten Geschwindigkeiten des zweistufigen Raketentyps. Innerhalb einer Spalte unterscheiden sich die Plots im gewählten Startwinkel θ der Rakete. Jeder der einzelnen Plots enthält zwei Graphen, die die jeweilige Größe zum Zeitpunkt des Brennschlusses der Rakete (gestrichelte Linie) sowie zum Zeitpunkt der erreichten maximalen Höhe (durchgezogene Linie) zeigen.

Den Modellrechnungen ist zu entnehmen, dass der zweistufige Raketentyp Höhen bis zu etwa 4000km und Geschwindigkeiten bis zu etwa 7km/s erreichen kann, abhängig von Startwinkel und Nutzlast. Der Betrag der Geschwindigkeit liegt bei den maximal zu erreichenden Höhen bei den angenommenen Startwinkeln im Bereich zwischen 0km/s bis ca. 4km/s, die Maximalhöhen

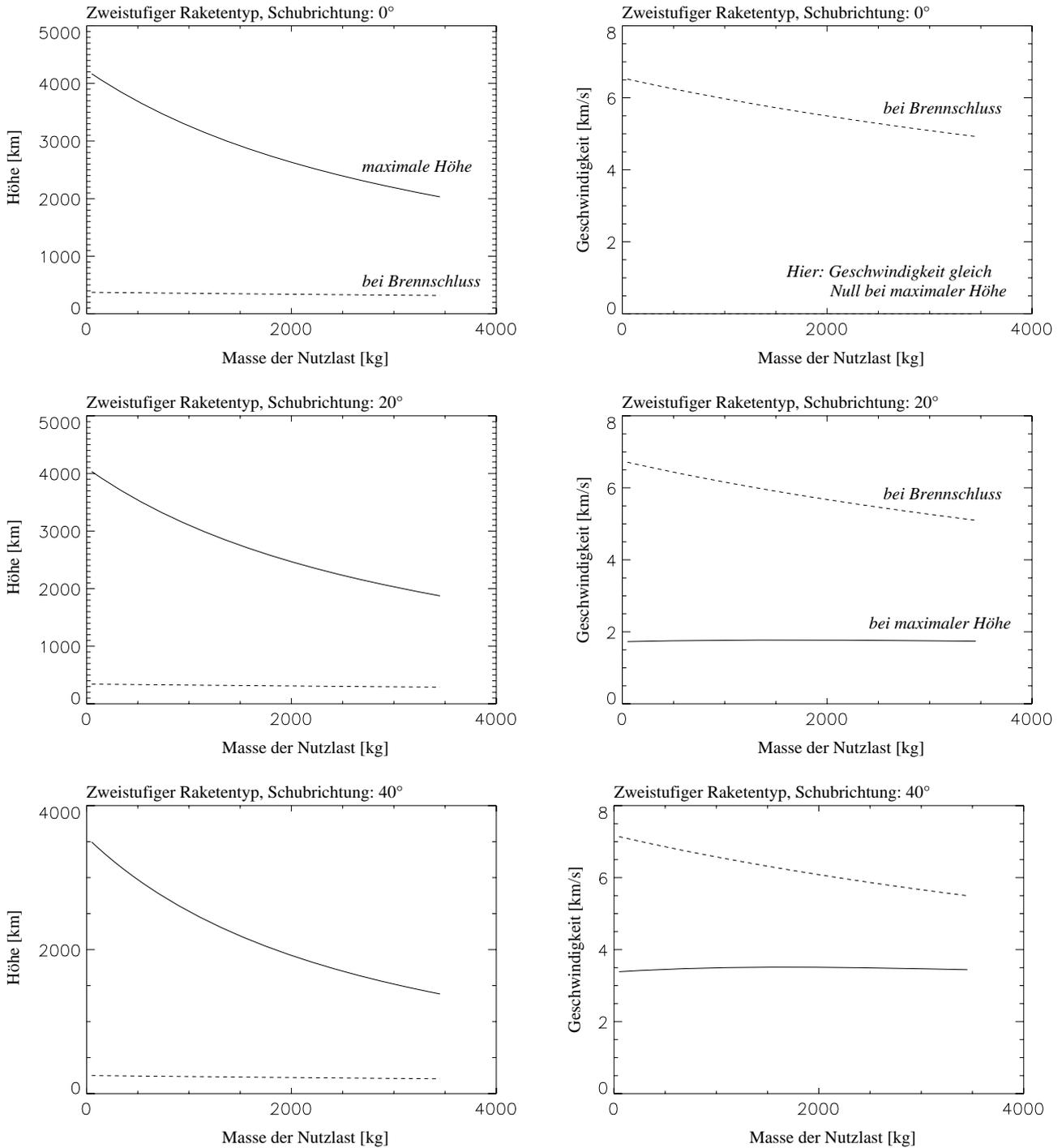


Abbildung 4.13: Erreichbare Höhen und Geschwindigkeiten des zweistufigen Raketentyps (a). Dargestellt sind die erreichbaren Höhen und Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Masse der Nutzlast für verschiedene Startwinkel θ der Rakete. Die beiden Kurven innerhalb eines Plots zeigen die maximal erreichbaren Größen bzw. ihren Betrag zum Zeitpunkt des Brennschlusses der Rakete, der jeweilige Startwinkel ist in der Kopfzeile eines einzelnen Plots angegeben. Eine Darstellung zur besseren Vergleichbarkeit der Resultate in Bezug auf die verschiedenen Startwinkel zeigt Abb. 4.14

bewegen sich dabei im Bereich um 1500km bis 3500km. Die größtmöglichen Geschwindigkeitsbeträge ($|\vec{v}|$) von etwa 6km/s bis 7km/s werden häufig bei Brennschluss der Rakete und in deutlich niedrigeren Höhen zwischen 200km und 400km erreicht. Abbildung 4.14 stellt die Ergebnisse

nochmals zur Vergleichbarkeit der Resultate in Bezug auf die verschiedenen Startwinkel θ dar.

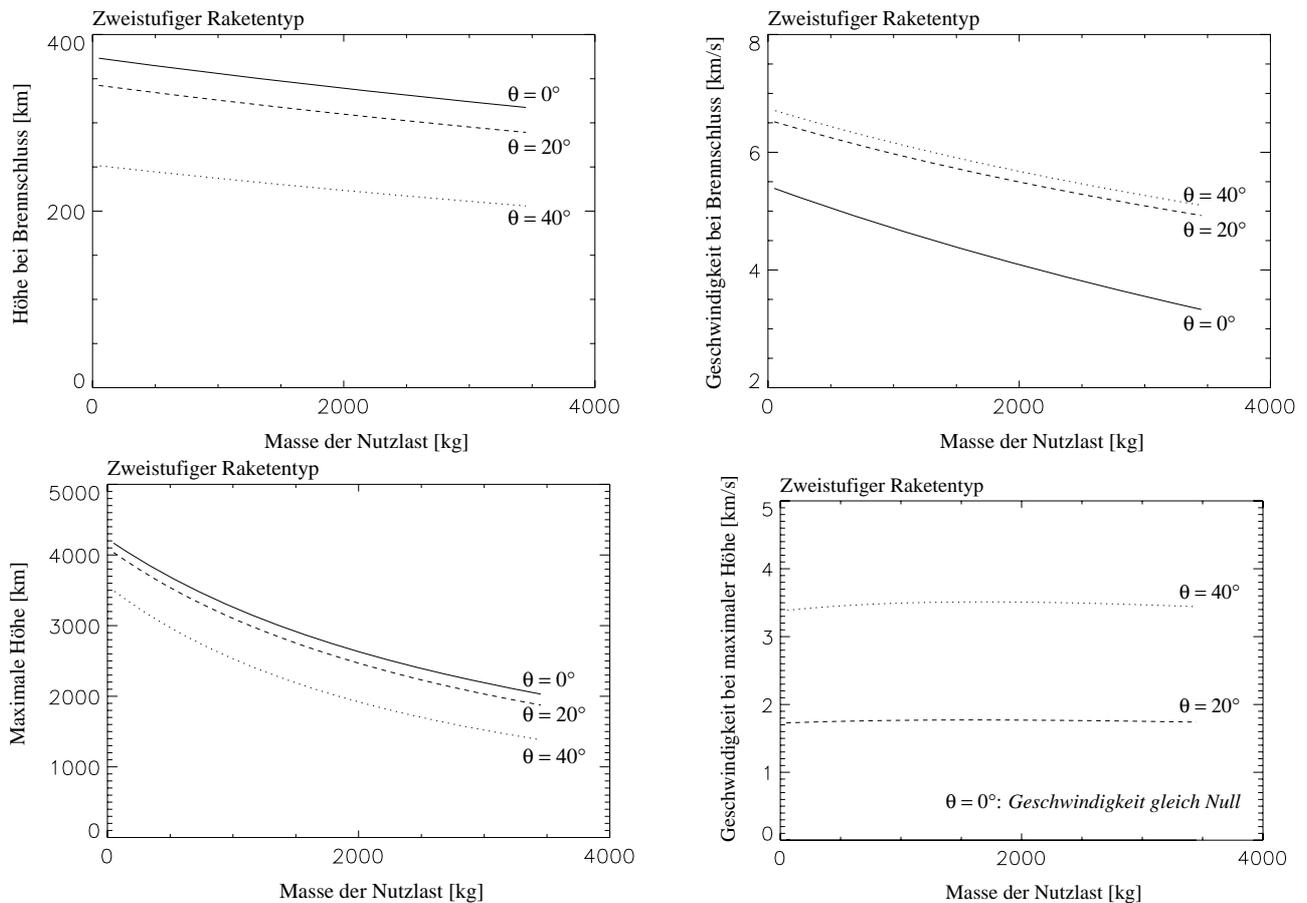


Abbildung 4.14: Erreichbare Höhen und Geschwindigkeiten des zweistufigen Raketentyps (b). Darstellung der Ergebnisse aus Abb. 4.13 zur einfacheren Vergleichbarkeit der Resultate in Bezug auf die verschiedenen Startwinkel.

Der Vergleich der erreichbaren Bahnhöhen mit der Verteilung der vorhandenen Weltrauminfrastruktur (vgl. Abbildung 4.2 und Kap. A.4) zeigt, dass bereits gut die Hälfte der Satelliten außerhalb der Reichweite eines zweistufigen Raketentyps liegt (bei senkrechtem Raketenanstieg). Ohne weitergehende Modifikationen der Raketenutzlast (weitere Antriebsstufe) sind weder mittlere und erst recht nicht geosynchrone (Spezialfall: geostationäre) Umlaufbahnen erreichbar. Außerhalb der Reichweite liegen beispielsweise die zum Navigationssystem GPS gehörenden Satelliten, militärische Frühwarnsatelliten (z.B. DSP/IMWES oder STSS) und z.T. Aufklärungs- (z.B. NOSS 12 zumindest an der Reichweitengrenze einstufiger Raketen) und Kommunikationssatelliten (z.B. Milstar-5/6). Innerhalb der prinzipiellen Reichweite ein- bzw. zweistufiger Raketentypen liegen insbesondere Satelliten für Meteorologie (z.B. DMSP) und Aufklärung (insbesondere Erdbeobachtungssatelliten KH, aber auch NOSS-Satelliten). Von den nicht geheimen Satelliten befindet sich die Mehrzahl von Satelliten für Anwendungen im Bereich Wetter/Erde, Wissenschaft und Navigation (nicht GPS) in der prinzipiellen Reichweite solcher Raketen, ebenso gut ein Drittel der Kommunikationssatelliten.

Man beachte, dass die Berücksichtigung von (geographischen) Startpunkt der Rakete und der tatsächlichen Bahn eines Satelliten dazu führen kann, dass sich der Anteil an Satelliten in Reichweite solcher Raketentyp weiter verringert. Die Bodenspur eines Satelliten auf dem Erdboden variiert insbesondere für Satelliten auf niedrigen Umlaufbahnen, entsprechend auch die Ent-

fernung zu einem angenommenen (festen) Raketenstartpunkt. Ein Satellit kann sich dadurch auch zeitweise innerhalb bzw. außerhalb der Reichweite einer Rakete befinden. Zudem ist die mögliche Erreichbarkeit eines Satelliten mit einer Rakete nur ein Kriterium mit Blick auf seine mögliche Gefährdung siehe auch Kap. 4.1.

4.4.5 Modellierung der Nutzlast

Für das „Schrottwolken-Szenario“ (siehe Kap. 4.4, Anfang) wurde die Rakete in dem Modell mit einer Nutzlast bestückt, welche aus Sprengstoff und Metallkugeln besteht. Dabei wurde angenommen, dass der Kern der Nutzlast aus einer Kugel aus konventionellem Sprengstoff besteht. Dieser ist von (kleineren) Kugeln umgeben, welche auf den Kern umgebende Kugelschalen (Hüllen) verteilt sind. Ein Zünden des Sprengstoffs bewirkt, dass sich die Metallkugeln mit einer durch die Menge (und ggf. Art) des gezündeten Sprengstoffs bestimmten Geschwindigkeit radial vom Zentrum der Nutzlast entfernen. Abb. 4.15 zeigt eine Illustration des angenommenen Aufbaus. Man beachte, dass zur besseren Anschauung Teile der vollständigen Nutzlast weggelassen wurden.

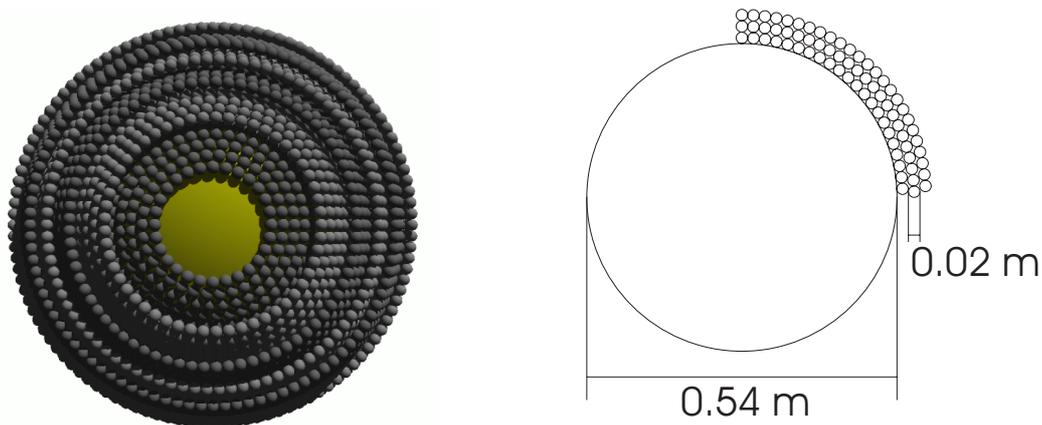


Abbildung 4.15: Illustration zur Aufbau der angenommenen Nutzlast. Die linke Abbildung zeigt eine dreidimensionale Ansicht eines Teils der Nutzlast. Zur besseren Anschauung der Schalenstruktur wurden verschiedene große Flächenteile in den einzelnen Schalen entfernt. Zu erkennen sind der kugelförmig angenommene Sprengstoff (gelb dargestellt) und die diesen umgebenden Kugelschalen, welche durch kleine Kugeln gebildet werden (direkt benachbarte Kugelschalen unterscheiden sich in der Darstellung durch unterschiedliche Grautöne). Die rechte Abbildung zeigt einen Teil einer Schnittebene durch die Nutzlast. Die angegebenen Zahlen sind Beispielwerte.

Die Modellierung der Nutzlast erfolgt im Modell durch Vorgabe der Größen

1. (ungefähre) Gesamtmasse der Nutzlast m_{NL}^* ,
2. Masse des konventionellen Sprengstoffs m_{Ex} ,
3. Radius der (Metall-)Kugeln r_k ,
4. Dichte der (Metall-)Kugeln ρ_k und
5. einer Angabe zum Geschwindigkeitsverhältnis α (siehe unten).

Aus diesen Parametern bestimmt sich das Aussehen der Nutzlast wie folgt:

Die Masse der Nutzlast m_{NL} setzt sich zusammen aus der Masse des Sprengstoffs m_{Ex} und der Gesamtmasse der (Metall-)Kugeln m_{Kges} :

$$m_{\text{NL}} = \underbrace{m_{\text{Ex}}}_{\text{Kern}} + \underbrace{m_{\text{Kges}}}_{\text{Kugeln}} \quad , \quad (4.14)$$

d.h. der nicht durch die Sprengstoffmasse benötigte Anteil an der Masse der Nutzlast wird von den (Metall-)Kugeln gebildet. Der Anteil m_{Kges} ist gegeben durch den größtmöglichen ganzzahligen Teiler aus angestrebter Gesamtmasse der Nutzlast m_{NL}^* und der Masse einer einzelnen Metallkugel m_{k} :

$$m_{\text{Kges}} = \text{Ganzzahl} \left(\frac{m_{\text{NL}}^* - m_{\text{Ex}}}{m_{\text{k}}} \right) \cdot m_{\text{k}} = N \cdot m_{\text{k}} \quad , \quad (4.15)$$

mit

$$m_{\text{k}} = \frac{4}{3} \cdot \rho_{\text{k}} \cdot \pi \cdot r_{\text{k}}^3 \quad (4.16)$$

und N gleich der Anzahl der um den Sprengstoffkern verteilten Kugeln.

Abhängig von der vorgegebenen Dichte der Kugeln ρ_{k} und dem vorgegebenen Kugelradius r_{k} unterscheidet sich die reale Gesamtmasse der Nutzlast m_{NL} verschieden stark von der vorgegebenen Masse m_{NL}^* .

Der Sprengstoffkern der Nutzlast wird als homogene Kugel mit Radius r_{Ex} beschrieben. Aus der Vorgabe der Sprengstoffmasse m_{Ex} berechnet sich seine räumliche Ausdehnung und die in m_{Ex} gespeicherte Energie anhand von Werten eines kommerziell erhältlichen Sprengstoffs für den Bergbau. Verwendet wurden Werte des Sprengstoffs *Heavy ANFO*⁹⁶ der Fima Dyno Nobel. Der Radius des Kerns berechnet sich nach

$$r_{\text{Ex}} = \left[\frac{m_{\text{Ex}}}{4/3 \cdot \pi \cdot \rho_{\text{Ex}}} \right]^{1/3} \quad , \quad (4.17)$$

mit $\rho_{\text{Ex}} = 0,85 \text{ g cm}^{-3} = 850 \text{ kg m}^{-3}$ [Dyn03]. Die im Sprengstoff gespeicherte Energie E_{Ex} ergibt sich nach

$$E_{\text{Ex}} = m_{\text{Ex}} \cdot \rho_{\text{ANFO}} \quad , \quad (4.18)$$

mit der Energiedichte von *Heavy ANFO* von $\rho_{\text{ANFO}} = 3,7 \cdot 10^6 \text{ MJ kg}^{-1}$ [Dyn03].

Die (Metall-)Kugeln (Anzahl N) werden im Modell in Kugelschalenstrukturen um den zentralen Sprengstoffkern platziert. Beginnend bei einem Abstand von $r_{\text{Ex}} + r_{\text{k}}$ vom Mittelpunkt des Sprengstoffes/der Nutzlast wird die erste Schalenstruktur (die innere Schicht, *layer*) mit Kugeln aufgebaut. Sofern mehr Kugeln vorhanden sind als zur Bildung der ersten Schalenstruktur nötig, wird eine neue Schicht im Abstand $r_{\text{Ex}} + 3 \cdot r_{\text{k}}$ aufgebaut. Der Vorgang des Aufbaus zusätzlicher Schichten wird fortgeführt, bis sämtliche N Kugeln um den Kern verteilt sind.

Es wird angenommen, dass die gesamte im Sprengstoff gespeicherte Energie in kinetische Energie der Metallkugeln umgewandelt wird⁹⁷. Die resultierende Ausbreitungsrichtung der einzelnen Kugeln wird durch ihre Radius(einheits)vektoren bestimmt, d.h. die Kugeln dehnen sich nach

⁹⁶*Heavy ANFO* oder auch *Packaged Ammonium Nitrate Emulsion Blend* ist eine 94:6 Mischung (nominal) aus granuliertem (*prilled*) Ammoniumnitrat und Dieselöl. [Dyn03]

⁹⁷In Sprengstoff gespeicherte Energiemengen werden in der Regel nur zu einem Teil umgewandelt. Nach [Röm62, Röm97] erfolgt eine Umwandlung in der Größenordnung um 40%. Dort finden sich auch Energiedichten für Sprengstoffe bis zu 8 MJ/kg, so dass die in der Modellierung gemachte Annahme der Umwandlung von 3,7 MJ/kg als angemessen angesehen wird.

der Explosion in radialer Richtung vom Zentrum/Schwerpunkt der Nutzlast aus (dieses bewegt sich i.d.R. ebenfalls, bedingt durch die Geschwindigkeit der Rakete zum Zeitpunkt der Sprengstoffzündung).

In die Verteilung der im Sprengstoff gespeicherten Energie auf die einzelnen (Metall-)Kugeln geht die zur Modellierung der Nutzlast vorzugebende Größe α ein. Sie dient zur Angabe eines Geschwindigkeitsverhältnisses von innerer und äußerer Kugelschicht nach erfolgter Zündung des Sprengstoffs:

$$\alpha = \frac{v_{\text{äussere Schicht}}}{v_{\text{innere Schicht}}} \quad , \quad \text{wobei } \alpha \geq 1 \quad , \quad (4.19)$$

d.h. man kann über die Wahl von α Einfluss auf die Ausbreitung der Kugelwolke nehmen. Durch $\alpha = 1$ erreicht man eine kompakte Ausbreitung der Kugeln (eine sich ausbreitende Kugelschicht der Dicke $l \cdot (2r_k)$, wenn l die Anzahl der Schichten bezeichnet). Mit zunehmendem α entfernen sich die einzelnen Schichten während der Ausdehnung in zunehmendem Maße relativ zueinander (bei sonst festen Parametern), d.h. die Dicke des sich mit der Zeit ausdehnenden Schalenvolumens („die Schrottwolke“) wächst zusehends.

Im Fall der Wahl eines $\alpha > 1$ wird angenommen, dass die Geschwindigkeit der Kugeln $|\vec{v}_j|$ innerhalb einer Kugelschicht j gleich ist und zwischen den verschiedenen Schichten, von innerer Schicht nach äußerer Schicht, linear anwächst. Die Energieverteilung auf die Kugeln in den verschiedenen Schichten erfolgt nach

$$E_{\text{Ex}} = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^{N_j} \frac{1}{2} m_{k,i,j} v_{k,i,j}^2 \quad , \quad (4.20)$$

mit der Anzahl der Schichten l , der Masse einer einzelnen Kugel $m_{k,i,j} = m_k = \text{konst.}$, der Geschwindigkeit einer Kugel $|\vec{v}_{k,i,j}|$ der Schicht j und der Anzahl der Kugeln N_j einer Schicht. Die resultierenden Geschwindigkeiten $|\vec{v}_j| = v_j$ innerhalb der verschiedenen Kugelschichten $j, j \in [1, l]$ werden bestimmt nach

$$v_{\text{innen}} = v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{Ex}}}{m_k \cdot \beta}} \quad (4.21)$$

mit

$$\beta = \sum_{j=1}^l \cdot N_j \left(\frac{(\alpha - 1)(j - 1)}{l - 1} - 1 \right)^2 \quad (4.22)$$

und

$$v_j = (\alpha - 1) \cdot v_1 \cdot \frac{j - 1}{l - 1} + v_1 \quad , \quad \text{für } 2 \leq j \leq l. \quad (4.23)$$

4.4.6 Modellergebnisse 2: Nutzlasten

Es wurden verschiedene Nutzlasten durch Variation der Modellparameter (vgl. Seite 68) simuliert. Für die Masse der Nutzlast wurden Werte von $m_{\text{NL}}^* = 700\text{kg}$ und 3500kg gewählt, als Sprengstoffmassen wurden $m_{\text{Ex}} = 10\text{kg}$; 50kg ; 100kg ; 200kg und 350kg gewählt. Verschiedene Ausbreitungsgeschwindigkeiten wurden durch die Wahl von $\alpha = 1$; 2 und 4 bestimmt. Als Material für die Kugeln wurden Eisen ($\rho_{k,\text{Fe}} = 7900\text{kg m}^{-3}$) und Aluminium ($\rho_{k,\text{Al}} = 2700\text{kg m}^{-3}$) angenommen.

Als Radien der Kugeln wurden $r_k = 0,003\text{m}$; $0,01\text{m}$ und $r_0(\rho_k)$ angenommen. Die beiden Werte von $0,3\text{cm}$ bzw. 1cm wurden mit Blick auf die Ergebnisse von *hypervelocity impact tests* gewählt (siehe Abb. 4.7). $r_0(\rho_k)$ ist ein vom verwendeten Material abhängiger Radius. Dieser

lehnt sich an eine Untersuchung des ALMV-Tests⁹⁸ an, nach der bei einem Massenverhältnis von Ziel und Projektil von ~ 1250 eine Kollision mit katastrophalen Folgen resultiert (bei einer Aufprallgeschwindigkeit um 10km/s). Für einen Satelliten ähnlich dem Zielsatelliten „P-78 Solwind“ des ALMV-Tests mit einer Masse von $m_{P-78} = 850\text{kg}$ bedeutet dies, dass ein Fragment der Masse $m_k = 0,68\text{kg}$ zu einem dem ALMV-Test ähnlichen Resultat führen kann [KAM01]. Dabei ist davon auszugehen, dass mehrere durch eine solche Kollision entstehenden Fragmente wiederum eine Masse von mehr als 0,68kg besitzen⁹⁹ und damit ggf. wiederum weitere Satelliten zerstören könnten. Die langfristigen Konsequenzen eines solchen Ereignisses hängen u.a. ab von der Höhe, in der das Ereignis stattgefunden hat, den resultierenden Fragmentgeschwindigkeiten und ggf. den sich ergebenden Bahnparametern oder der zukünftigen Entwicklung der Raumfahrt (Anzahl der Starts, Satellitenpopulation oder Maßnahmen zur Verringerung von Weltraumschrott).¹⁰⁰ Nach [KAM01] könnte es unter bestimmten Annahmen schwierig werden, eine intakte Satellitenpopulation instand zu halten, da die Zahl der (auch kleineren) Fragmente für Missionen im *Low Earth Orbit* zu gefährlich ist.¹⁰¹

Anhand dieser *worst case*-Annahme einer Projektilmasse von 0,68kg bestimmt sich r_0 für Eisen bzw. Aluminium zu $\rho_{k,Fe} \approx 0,0274\text{m}$ und $\rho_{k,Al} \approx 0,0392\text{m}$.

Tabelle 4.7 zeigt eine ausgewählte Übersicht der verwendeten Eingangsgrößen und resultierenden Größen zur Beschreibung der jeweiligen Nutzlast. Sie gibt neben den Eingangsgrößen m_{NL}^* , m_{Ex} , r_k und ρ_k (vgl. Aufzählung im Kap. 4.4.5, S. 68) die resultierende Anzahl N der Kugeln und die Anzahl der resultierenden Schichten l an. Abhängig von der Gesamtmasse der Nutzlast und dem Massenanteil des verwendeten Sprengstoffs resultieren Teilchenzahlen (Anzahl von Metallkugeln) zwischen 10^2 bis 10^7 , welche prinzipiell in die (Nähe der) Bahn eines Satelliten gebracht werden können. Die Teilchen verteilen sich dabei auf eine Anzahl von Kugelschalen zwischen lediglich ein bis zwei (700kg Nutzlast mit einem 50%-igen Massenanteil an Sprengstoff, Metallkugeldurchmesser im cm-Bereich) bis um 100 Kugelschalen (bei max. Nutzlast bei geringem Massenanteil an Sprengstoff).

Tabelle 4.8 zeigt die resultierenden Geschwindigkeiten von innerer (v_1) und äußerer Schicht v_l sowie die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Kugeln zweier benachbarter Kugelschalen Δv bei verschiedenen angenommenen Geschwindigkeitsverhältnissen α für ausgewählte Kombinationen der verbleibenden vier Eingangsgrößen. Die Angabe von v_l in der Tabelle ist als Konsistenzprüfung der Berechnung zu verstehen¹⁰².

⁹⁸Zum ALMV siehe Kap. 2.2 auf Seite 4.

⁹⁹Nach einer Abschätzung scheint beim ALMV-Test die Anzahl der resultierenden Fragmente mit einer Masse größer als 0,68kg im Bereich 80 bis 95 Fragmente zu liegen [KAM01].

¹⁰⁰Modellrechnungen finden sich u.a. in [KAM01, KOK01].

¹⁰¹ „If the current intact population is allowed to continue to increase before being maintained at a particular level, the rate of increase in collision fragments can increase significantly. In practice, under these conditions and after some period of time, the intact population would be difficult to maintain because the fragment population would become too hazardous to continue space operations in low Earth orbit.“ [KAM01, S. 272]

¹⁰² v_l ließe sich anhand der Zahl der Schichten (vgl. Tab. 4.7) und den Geschwindigkeiten v_1 und Δv bestimmen.

m_{NL}^* [kg]	m_{Ex} [kg]	r_{k} [m]	ρ_{k} [kg/m ³]	N	l	m_{NL}^* [kg]	m_{Ex} [kg]	r_{k} [m]	ρ_{k} [kg/m ³]	N	l
700	10	0,0030	7900	772270	35	3500	10	0,003	7900	3906123	75
700	10	0,0100	7900	20851	11	3500	10	0,01	7900	105465	23
700	10	0,0274	7900	1014	4	3500	10	0,0274	7900	5132	9
700	10	0,0030	2700	2259607	59	3500	10	0,003	2700	11429027	117
700	10	0,0100	2700	61009	18	3500	10	0,01	2700	308583	36
700	10	0,0392	2700	1014	5	3500	10	0,0392	2700	5132	10
700	50	0,0030	7900	727501	22	3500	50	0,003	7900	3861353	60
700	50	0,0100	7900	19642	7	3500	50	0,01	7900	104256	18
700	50	0,0274	7900	955	3	3500	50	0,0274	7900	5073	7
700	50	0,0030	2700	2128615	43	3500	50	0,003	2700	11298035	101
700	50	0,0100	2700	57472	13	3500	50	0,01	2700	305046	31
700	50	0,0392	2700	955	4	3500	50	0,0392	2700	5073	8
700	100	0,0030	7900	671539	16	3500	100	0,003	7900	3805392	51
700	100	0,0100	7900	18131	5	3500	100	0,01	7900	102745	16
700	100	0,0274	7900	882	2	3500	100	0,0274	7900	5000	6
700	100	0,0030	2700	1964875	34	3500	100	0,003	2700	11134295	91
700	100	0,0100	2700	53051	11	3500	100	0,01	2700	300626	28
700	100	0,0392	2700	882	3	3500	100	0,0392	2700	5000	7
700	200	0,0030	7900	559616	10	3500	200	0,003	7900	3693468	41
700	200	0,0100	7900	15109	3	3500	200	0,01	7900	99723	13
700	200	0,0274	7900	735	2	3500	200	0,0274	7900	4852	5
700	200	0,0030	2700	1637396	23	3500	200	0,003	2700	10806816	78
700	200	0,0100	2700	44209	7	3500	200	0,01	2700	291784	24
700	200	0,0392	2700	735	2	3500	200	0,0392	2700	4852	7
700	350	0,0030	7900	391731	5	3500	350	0,003	7900	3525583	33
700	350	0,0100	7900	10576	2	3500	350	0,01	7900	95190	10
700	350	0,0274	7900	514	1	3500	350	0,0274	7900	4632	4
700	350	0,0030	2700	1146177	14	3500	350	0,003	2700	10315597	67
700	350	0,0100	2700	30946	4	3500	350	0,01	2700	278521	20
700	350	0,0392	2700	514	2	3500	350	0,0392	2700	4632	6

Tabelle 4.7: Eingangs- und resultierende Größen zur Nutzlastbeschreibung (Auswahl). Es bezeichnen m_{NL}^* die (ungefähre) Gesamtmasse der Nutzlast, m_{Ex} die Masse des konventionellen Sprengstoffs, r_{k} den Radius der Kugeln, ρ_{k} die Dichte der Kugeln, N die berechnete Anzahl der Kugeln und l die Anzahl der resultierenden Schichten.

m_{NL}^* [kg]	m_{Ex} [kg]	r_{k} [m]	ρ_{k} [kg/m ³]	$\alpha = 1$	$\alpha = 2$			$\alpha = 4$		
				$v_1 = v_l$	v_1	v_l	Δv	v_1	v_l	Δv
700	10	0,0030	7900	327,5	197,7	395,5	5,8	108,7	434,8	9,6
700	10	0,0100	7900	327,5	199,5	399,1	20,0	110,2	440,8	33,1
700	10	0,0274	7900	327,6	193,9	387,9	64,7	104,5	418,2	104,6
700	10	0,0030	2700	327,5	194,3	388,6	3,4	105,9	423,6	5,5
700	10	0,0100	2700	327,5	194,3	388,7	11,4	105,8	423,4	18,7
700	10	0,0392	2700	327,6	195,9	391,7	49,0	106,8	427,1	80,1
700	350	0,0030	7900	2720,0	1756,8	3513,6	439,2	994,4	3977,7	745,8
700	350	0,0100	7900	2720,4	1909,4	3818,7	1909,3	1097,0	4387,9	3290,9
700	350	0,0274	7900	2722,2	2722,2	-	-	2722,2	-	-
700	350	0,0030	2700	2720,3	1790,2	3580,3	137,7	1037,0	4148,1	239,3
700	350	0,0100	2700	2720,3	1733,0	3466,0	577,7	969,7	3878,7	969,7
700	350	0,0392	2700	2722,2	2638,8	5277,5	-	2368,4	9473,7	-
3500	10	0,0030	7900	145,6	85,7	171,4	1,2	46,5	186,0	1,9
3500	10	0,0100	7900	145,6	86,0	172,0	3,9	46,8	187,0	6,4
3500	10	0,0274	7900	145,6	87,5	175,0	10,9	48,1	192,3	18,0
3500	10	0,0030	2700	145,6	84,8	169,6	0,7	45,8	183,1	1,2
3500	10	0,0100	2700	145,6	87,5	175,1	2,5	48,2	192,8	4,1
3500	10	0,0392	2700	145,6	85,4	170,8	9,5	46,3	185,2	15,4
3500	350	0,0030	7900	906,8	586,3	1172,6	18,3	332,3	1329,3	31,2
3500	350	0,0100	7900	906,8	575,4	1150,8	63,9	324,6	1298,6	108,2
3500	350	0,0274	7900	906,8	577,2	1154,4	192,4	327,3	1309,3	327,3
3500	350	0,0030	2700	906,8	589,5	1179,1	8,9	339,2	1356,8	15,4
3500	350	0,0100	2700	906,8	558,2	1116,5	29,4	309,9	1239,6	48,9
3500	350	0,0392	2700	906,8	561,9	1123,7	112,4	313,6	1254,6	188,2

Tabelle 4.8: Geschwindigkeiten verschiedener Schichten bei verschiedenen angenommenen Geschwindigkeitsverhältnissen α (vgl. Gleichung 4.19) für ausgewählte Kombinationen der übrigen Eingangsgrößen (ungefähre) Gesamtmasse der Nutzlast m_{NL}^* , Masse des konventionellen Sprengstoffs m_{Ex} , Radius der Kugeln r_{k} und Dichte der Kugeln ρ_{k} . v_1 kennzeichnet den Betrag der Geschwindigkeiten der Kugeln der inneren Kugelschale, v_l die Geschwindigkeit der Kugeln der äußeren Schicht. Δv gibt die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Kugeln zweier benachbarter Kugelschalen, z.B. $v_l - v_{l-1}$, an. Bei Angabe von „-“ existiert lediglich eine Schale um den Sprengstoffkern der Nutzlast. Die Geschwindigkeiten sind in [m/s] angegeben.

Unter den gegebenen Annahmen resultieren für die Metallkugeln Geschwindigkeiten in der Größenordnung zwischen 10^0 m/s und 10^3 m/s, abhängig von den gegebenen Randbedingungen. Vielfach liegt die Geschwindigkeit einzelner Kugeln im Bereich einiger hundert Meter pro Sekunde. Die resultierenden Geschwindigkeiten bewegen sich in gleicher Größenordnung wie in einer Analyse zu technischen Aspekten der Raketenabwehr genannt. Diese nennt für resultierende Schrapnells eines Gefechtskopfes mit Splitterwirkung (*conventional fragmentation warhead*) Geschwindigkeiten zwischen 1km/s und 2,4km/s bei Massenanteilen eines konventionellen Sprengstoffs an der Gefechtskopfmasse von 10% bzw. 50% [Alt88]. Für die in Tab. 4.8 genannten Massenanteile würden sich Geschwindigkeiten zwischen 160m/s und 2370m/s ergeben (siehe auch Anhang A.1).

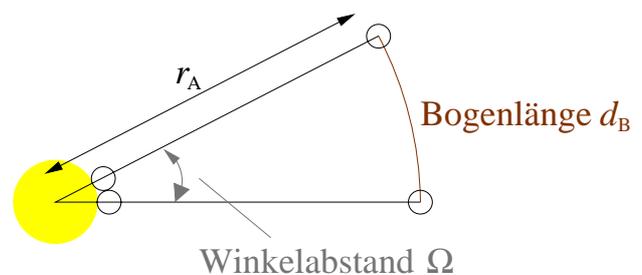
4.4.7 Abschätzung zum Kollisionsrisiko

Neben der bisher genannten „Variablen“ von erreichbaren Höhen einer Rakete und der Bestückung mit einer möglichen Nutzlast ist für die weitere Analyse der Realisierbarkeit bzw. Wirksamkeit des angenommenen „Schrottwolken-Szenarios“ die Genauigkeit der Annäherung der Nutzlast an den Zielsatelliten, die damit verbundene Teilchenkonzentration zum Zeitpunkt einer möglichen Kollision sowie ggf. das weitere Verhalten der ausgebrachten (Metall-)Kugeln von Interesse.

Nach Diskussionen mit Wissenschaftlern vom Massachusetts Institute of Technology (MIT), der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) oder der Beijing University of Aeronautics and Astronautics (BUAA) scheint eine Annäherung der Nutzlast an einen Zielsatelliten von größer/ungefähr zwei Kilometern eine realistische Annahme zu sein. Es wird davon ausgegangen, dass dabei sowohl Unsicherheiten in der Nutzlast-/Raketenposition (Raketensteuerung und Zeitpunkt der Sprengstoffzündung) als auch Unsicherheiten in der Bestimmung der Bahnposition bedingt durch technisch wenig fortentwickelte Mittel abgedeckt sind.

Unter der Voraussetzung, dass sich die äußere Nutzlastschicht aus Metallkugeln auf einen der Unsicherheit der Annäherung entsprechenden Radius von $r_A = 2000\text{m}$ ausdehnen muss, wurden die Abstände der einzelnen Metallkugeln zueinander wie folgt bestimmt: Es wird angenommen, dass sich die einzelnen Kugeln radial in Richtung ihres jeweiligen Ortsvektors zum Zeitpunkt der Sprengstoffzündung ausbreiten. Ihre anfängliche Position wird durch die Vorgaben zur Beschreibung der Nutzlast bestimmt. Je größer der Radius der genutzten Metallkugeln und je kleiner die Masse (und somit der Radius) des Sprengstoffs werden, desto größer ist die anfängliche Winkeldifferenz zwischen Kugeln und somit auch der Abstand zwischen den Metallkugeln zu einem späteren Zeitpunkt nach der Zündung des Sprengstoffs (vgl. Abb. 4.16).

Abbildung 4.16: Illustration zur Bestimmung von Abständen einzelner Metallkugeln der Nutzlast zum Zeitpunkt einer möglichen Kollision mit einem Zielsatelliten. Der Winkelabstand Ω (hier für die innerste Kugelschale gezeigt) ergibt sich aus der Wahl von Metallkugeldurchmesser und Sprengstoffmasse. Anhand von Ω bestimmt sich der Abstand der Metallkugeln zu einem späteren Zeitpunkt nach der Zündung des Sprengstoffs, hier illustriert als Bogenlänge d_B der nötigen Ausdehnung der sich aus der Nutzlast bildenden Sphäre ((Radius r_A)) aus Metallkugeln.



Die Metallkugeln der innersten Kugelschicht einer Nutzlast weisen den größten Winkelabstand auf, dieser verringert sich in jeder an diese anschließende Kugelschale¹⁰³. Tabelle 4.9 zeigt für Nutzlasten einer Masse von 700kg und 3500kg die resultierenden Winkelabstände $\Omega_{j,\Theta}$ zwischen benachbarten Kugeln innerhalb einer Kugelschale j . Diese wurden anhand der Zenitwinkel der modellierten Nutzlasten bestimmt. Abhängig vom Durchmesser der Metallkugeln und der Masse des Sprengstoffs variieren die Winkelabstände für die innere Kugelschale zwischen etwa 1 Grad und 19 Grad. Zu den äußeren Kugelschalen hin verringern sich die Winkelabstände auf 0,4 Grad bis 9,5 Grad.

¹⁰³Genau genommen bildet die äußere Kugelschale dann eine Ausnahme, wenn diese nicht vollständig durch Metallkugeln aufgefüllt werden kann.

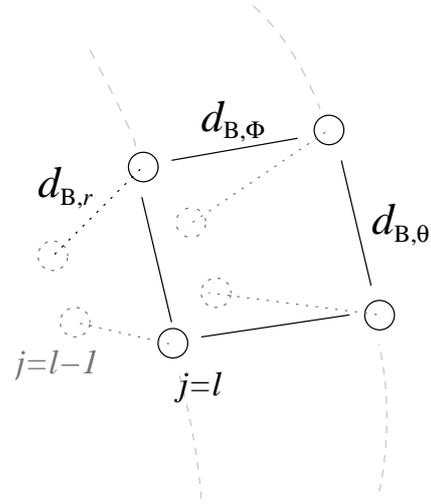
Tabelle 4.9: Winkeldifferenzen $\Omega_{j,\Theta}$ zwischen benachbarten Kugeln innerhalb einer Kugelschale j . Aufgeführt sind die Zenitwinkelabstände der Kugeln für die innere ($j = 1$) und die äußere Schale ($j = l$). Das '>'-Zeichen zeigt an, dass die genannten Zahlen sich auf vollständig gefüllte Schalen beziehen. Es bezeichnen zudem m_{NL}^* die Gesamtmasse der Nutzlast, m_{Ex} die Masse des Sprengstoffs, r_k den Radius der Kugeln und ρ_k die Dichte der Kugeln.

m_{NL}^* [kg]	m_{Ex} [kg]	r_k [m]	ρ_k [kg/m ³]	$\Omega_{j=1,\Theta}$ [Grad]	$\Omega_{j=l,\Theta}$ [Grad]
700	10	0,0030	7900	2,4	> 1,0
700	10	0,0100	7900	7,7	> 3,3
700	10	0,0274	7900	18,9	> 9,5
700	10	0,0030	2700	2,4	> 0,7
700	10	0,0100	2700	7,7	> 2,3
700	10	0,0392	2700	25,7	> 9,2
700	350	0,0030	7900	0,74	> 0,7
700	350	0,0100	7900	2,4	> 2,3
700	350	0,0274	7900	> 6,4	-
700	350	0,0030	2700	0,7	> 0,6
700	350	0,0100	2700	2,4	> 2,2
700	350	0,0392	2700	9,0	> 7,8
3500	10	0,0030	7900	2,4	> 0,6
3500	10	0,0100	7900	7,7	> 1,9
3500	10	0,0274	7900	18,9	> 5,2
3500	10	0,0030	2700	2,4	> 0,4
3500	10	0,0100	2700	7,7	> 1,3
3500	10	0,0392	2700	25,7	> 5,1
3500	350	0,0030	7900	0,7	> 0,5
3500	350	0,0100	7900	2,4	> 1,8
3500	350	0,0274	7900	6,4	> 4,9
3500	350	0,0030	2700	0,7	> 0,4
3500	350	0,0100	2700	2,4	> 1,3
3500	350	0,0392	2700	9,0	> 5,1

Unter Berücksichtigung von verschiedenen angenommenen Verhältnissen der Ausbreitungsgeschwindigkeiten α (vgl. Gl. 4.19) ergeben sich unterschiedliche räumliche Verteilungen von Metallkugeln im Raum. Tabelle 4.10 gibt exemplarisch Abstände (siehe hierzu Abb.4.17) zwischen einzelnen Eisenkugeln zum Zeitpunkt der Ausdehnung der äußeren Nutzlastschicht auf einen Radius von $r_A = 2\text{km}$ an. Für die Nutzlast wurde eine Gesamtmasse von 700kg und eine Sprengstoffmasse von 70kg angenommen.

Für die in Tab.4.8 genannten Nutzlasten variieren die Abstände $d_{B,r}$ zwischen benachbarten Schalen typischerweise zwischen 30m und 300m, in Extremfällen treten auch Abstände von nicht ganz 10m bzw. um die 1000m auf. Die Abstände zwischen den Kugeln innerhalb einer Schale $d_{B,\Theta}$ variieren dabei für die äußerste Schale zwischen knapp 20m bis um die 200m, für die innere Schale variieren die Abstände $d_{B,\Theta}^{(j=1)}$ in ähnlichen Größenordnungen von wenigen zehn Metern bis hin zu wenigen hundert Metern. Tendenziell sind bei den hier gewählten Nutzlastkombinationen die Winkelabstände zwischen Kugeln der inneren Schale um mehr als einen Faktor 2 größer als die der äußeren Schale. Bei gewähltem $\alpha = 2$ resultieren daraus größere Abstände zwischen Kugeln der inneren Schale im Vergleich zu denen der äußeren Schale. Bei gewähltem $\alpha = 4$ liegen die Abstände zwischen Kugeln der inneren Schale meistens unterhalb derer der äußeren Schalenstruktur. In Extremfällen wie großen Sprengstoffmassen und kleinen Metallkugelnradien oder kleinen Massen an Sprengstoff und großen Metallkugelnradien finden sich auch Abstände zwischen den Kugeln der innersten Kugelschale zwischen 6m bis 12m bzw. bis hinauf zu 450m.

Abbildung 4.17: Skizze zur Benennung von Abständen in der Tabelle 4.10. Die einzelnen Metallkugeln breiten sich in Form einer sich ausdehnenden Kugelschalenstruktur (Schichten j , mit $j \in [1, l]$) aus, illustriert ist ein kleiner Ausschnitt der äußersten Schicht ($j = l$) und ihrer nächst benachbarten Schicht ($j = l - 1$). $d_{B,r}$ bezeichnet den radialen Abstand zweier benachbarter Kugelschalen, $d_{B,\theta}$ und $d_{B,\phi}$ bezeichnen die Abstände (Bogenlängen, die sich häufig kaum von Geraden unterscheiden) zwischen benachbarten Kugeln innerhalb einer Schicht j . θ bzw. ϕ kennzeichnen die Richtung (Zenit bzw. Azimut), entlang derer die Abstandsbestimmung erfolgte.



Die Chance für einen Satelliten, eine solche Trümmerwolke unbeschadet zu passieren, hängt von der relativen Position der Wolke zum Satelliten, der Teilchendichte in der Wolke und der Querschnittsfläche des Satelliten ab.

Eine stark vereinfachte Abschätzung kann wie folgt aussehen: Angenommen, die Trümmerwolke habe sich auf einen Radius von 2km ausgedehnt und ihr Mittelpunkt befinde sich direkt in der (geraden) Bahn des Satelliten. Unter der (vereinfachenden) Voraussetzung einer sich während des Satellitendurchganges nicht weiter ausdehnenden Wolke durchquert der Satellit $2l$ ($l =$ Anzahl der Schalen der Nutzlast) Schichten mit unterschiedlichen relativen Abständen zwischen den einzelnen Metallkugeln einer Schicht (näherungsweise Quadrate mit Kantenlängen $d_{B,\theta}$ (vgl. Tabelle 4.10), an deren Eckpunkten sich jeweils eine Kugel befindet). Die (geometrische) Wahrscheinlichkeit, dass ein Satellit der Querschnittsfläche A_S beim Durchqueren einer Schicht aus Metallkugeln mit einer Kugel kollidiert, kann durch das Verhältnis von Satellitenquerschnitt und Flächendichte der Kugeln innerhalb einer Schicht ausgedrückt werden:

$$P(\text{Kollision}) = \frac{A_S}{d_{B,\theta}^2} \quad . \quad (4.24)$$

Es besteht somit eine Wahrscheinlichkeit von

$$P(\text{Durchgang}) = 1 - P(\text{Kollision}) = 1 - \frac{A_S}{d_{B,\theta}^2} \quad , \quad (4.25)$$

dass der Satellit eine Wolkenschicht durchquert. Nehmen wir den Durchgang des Satelliten durch verschiedenen Schichten j als unabhängige Ereignisse an, so ergibt sich die Wahrscheinlichkeit des Durchgangs des Satelliten durch alle Schichten nach:

$$P_{\text{ges}}(\text{Durchgang}) = \prod_{j=1}^N \left(1 - \frac{A_S}{d_{B,\theta,k}^2} \right) \quad , \quad (4.26)$$

mit $N = 2l$ der Gesamtzahl aller zu durchquerenden Schichten (jede aus der Nutzlast hervorgegangene Kugelschicht wird zweimal durchquert, einmal beim Eintritt in die Trümmerwolke und einmal beim Verlassen der Wolke). Somit bestimmt sich die Gesamtwahrscheinlichkeit einer Kollision $P_{\text{ges}}(\text{Kollision})$ eines Satelliten mit mindestens einer Kugel der Trümmerwolke nach

$$P_{\text{ges}}(\text{Kollision}) = 1 - \prod_{j=1}^N \left(1 - \frac{A_S}{d_{B,\theta,k}^2} \right) \quad . \quad (4.27)$$

Radius Metallkugeln: $r_k = 0,01\text{m}$ (2cm Durchmesser)

		$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	$j=6$
	Ω	4,1	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0
$\alpha = 2$	v [m/s]	577	692	807	923	1038	1153
	r_j [m]	1001	1200	1400	1601	1801	2000
	$d_{B,r}$ [m]		200	200	200	200	200
	$d_{B,\Theta}$ [m]	72	80	88	95	101	105
$\alpha = 4$	v [m/s]	325	520	714	910	1104	1299
	r_j [m]	500	801	1099	1401	1700	2000
	$d_{B,r}$ [m]		300	300	300	300	300
	$d_{B,\Theta}$ [m]	36	53	69	83	95	105

Anzahl Kugeln: $N = 19038$

Radius Metallkugeln: $r_k = 0,027\text{m}$ (5,4cm Durchmesser)

		$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	$j=6$
	Ω	10,6	9,0	7,7	-	-	-
$\alpha = 4$	v [m/s] [m]	399	997	1595	-	-	-
	r_j	500	1250	2000	-	-	-
	$d_{B,r}$		750	750	-	-	-
	$d_{B,\Theta}$	93	196	269	-	-	-

Anzahl Kugeln: $N = 967$

Tabelle 4.10: Verteilungen von Metallkugeln im Raum zum Zeitpunkt der Ausdehnung der äußeren Nutzlastschicht auf einen Radius von $r_A = 2000\text{m}$. Es wurde eine Nutzlast mit einer Gesamtmasse von 700kg und einer Sprengstoffmasse von 70kg angenommen. Gezeigt sind Resultate für angenommene Eisenkugeln ($\rho_{k,Fe} = 7900\text{kg m}^{-3}$) verschiedener Radien und verschieden angenommener Verhältnisse der Ausbreitungsgeschwindigkeiten α zwischen innerer und äußerer Kugelschale. r_j bezeichnet den Abstand einer Kugel in der Schicht j vom Zentrum der Kugel, $d_{B,r}$ bzw. $d_{B,\Theta}$ Abstände zwischen benachbarten Kugeln in radialer Richtung bzw. in Richtung des Zenitwinkels bestimmt, vgl. auch Abb. 4.17.

Für Satelliten einer Querschnittsfläche von 10m^2 bzw. 100m^2 und den in Tabelle 4.10 angeführten Daten einer Nutzlast von 700kg bei 70kg Sprengstoffanteil ergeben sich danach Kollisionswahrscheinlichkeiten zwischen 0,3% und 29% (vgl. Tabelle 4.11).

Mit größer werdender Nutzlastmasse und kleiner werdenden Metallkugelradien r_k nehmen, bei sonst gleichbleibenden Randbedingungen, die Kollisionswahrscheinlichkeiten zu. Im Falle einer Nutzlastmasse von 3500kg bei 10kg Anteil an Sprengstoff finden sich etwa 10^7 Aluminiumkugeln von 3mm Radius in der Trümmerwolke, verteilt auf 117 Schalen. Für eine solche Verteilung finden sich Kollisionswahrscheinlichkeiten von $P_{\text{ges}}(\text{Kollision}) = 0,991$ ($A_S = 10\text{m}^2$, $\alpha = 1$) bis $P_{\text{ges}}(\text{Kollision}) = 1$ ($A_S = 100\text{m}^2$, $\alpha = 1, 2$ oder 4).

Eine Berechnung von Kollisionswahrscheinlichkeiten eines Satelliten mit einer ähnlich verteilten Trümmerwolke bei unterschiedlicher Annäherung von Satellit und Trümmerwolke findet sich in [Wri04]. Ausgehend von einer Nutzlast von 1000kg werden in [Wri04] dabei drei unterschiedliche Teilchenzahlen angenommen: 10^6 Kugeln von 1g Masse, 10^5 Kugeln von 10g Masse und 33000 Kugeln einer Masse von 30g. Die entstehende Trümmerwolke wird als Scheibe mit Radius R_d beschrieben, wobei die Position der Kugeln in der Wolke einer Gleichverteilung folgt. Unter der Annahme, dass die durch die Rakete bedingte Unsicherheit durch eine *Circular Error Probability* von $\text{CEP} \approx 0,5\text{km}$ beschrieben werden kann, ergeben sich die in Abb. 4.18 gezeigten

A_S [m ²]	α	r_k [m]	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	$j=6$	P_{ges} (Kollision)
10	2	0,010	0,9981	0,9984	0,9987	0,9989	0,9990	0,9991	0,0154
	4	0,010	0,9923	0,9964	0,9979	0,9985	0,9989	0,9991	0,0332
	4	0,027	0,9988	0,9997	0,9999	-	-	-	0,0031
100	2	0,010	0,9807	0,9844	0,9871	0,9889	0,9902	0,9909	0,1450
	4	0,010	0,9228	0,9644	0,9790	0,9855	0,9889	0,9909	0,2920
	4	0,027	0,9884	0,9974	0,9986	-	-	-	0,0308

Tabelle 4.11: Beispiel für Kollisionswahrscheinlichkeiten P_{ges} (Kollision) von Satelliten einer Querschnittsfläche A_S mit mindestens einer Metallkugel (Eisen, Durchmesser r_k) in einer Trümmerwolke mit Radius 2km. Die Nutzlast wurde zu 700kg angenommen, davon 70kg Sprengstoff. Die mit $j = 1$ bis $j = 6$ benannten Spalten geben die Wahrscheinlichkeit für den kollisionsfreien Durchgang des Satelliten durch eine Ebene an, welche Metallkugelabstände entsprechend denen der Schicht j aufweist (siehe auch Gl. 4.25). Zu weiterhin getroffenen Annahmen siehe Text.

Kollisionswahrscheinlichkeiten.

Ähnlich zu den Ergebnissen in Tabelle 4.11 zeigen auch diese Modellrechnungen von D. Wright verschiedene resultierende Kollisionswahrscheinlichkeiten, abhängig von der Anzahl der Teilchen in der Trümmerwolke. Der Abbildung 4.18 ist zudem der Einfluss der tatsächlichen relativen Position der Trümmerwolke zum Ziel auf die Kollisionswahrscheinlichkeit zu entnehmen. Größer werdende Unsicherheiten in der Bestimmung der Satellitenbahnhöhe (auch z.B. durch einen unsicheren Zündzeitpunkt für den Beginn der Wolkenexpansion bedingt) reduzieren die Kollisionswahrscheinlichkeit deutlich. In einem aus Sicht des Aggressors ungünstigen Fall könnte der anvisierte Zielsatellit die Wolke sogar unbeschadet passieren.

Die Ergebnisse können dahingehend interpretiert werden, dass aus Sicht eines potenziellen Aggressors das Gelingen eines solchen „Schrottwolken-Vorhabens“ vom verfolgten Ziel abhängig ist. Strebt dieser die „sichere“ Zerstörung eines einzelnen Zielsatelliten im niedrigen Erdorbit an, so wird er eine Kollision eines größeren Trümmerteils mit dem eigentlichen Satellitenkörper (und somit die Kollision mit einer kleinen Zielfläche im Vergleich zur gesamten Satellitenfläche einschließlich z.B. Sonnenpanele) anstreben müssen. Die zu erwartende Teilchendichte im Raum ist dabei allerdings so niedrig, dass selbst bei 700kg angestrebter Nutzlast wenig Aussicht auf Erfolg besteht (Kollisionswahrscheinlichkeit im Promille-Bereich). Ein Erhöhen der Nutzlastmasse kann die Kollisionswahrscheinlichkeit zwar steigern, setzt allerdings zugleich das Vorhandensein bzw. den Zugriff auf stärkere Trägerkapazitäten voraus. Zudem wird die von der Rakete erreichbare Höhe bei Erhöhung der Nutzlastmasse verringert, wodurch ein zu erreichender Zielsatellit außer Reichweite (ggf. partiell) gelangen kann. Auch die Verwendung kleinerer Metallkugeln erhöht die Kollisionswahrscheinlichkeit eines Satelliten mit der ausgebrachten Trümmerwolke, vermindert aber gleichzeitig die mögliche Wirkung auf das Ziel (z.B. ein Durchdringen von Schilden). Sicherlich werden selbst kleinere Teilchen Schäden am Satelliten hervorrufen können, fraglich bleibt allerdings die nötige Anzahl von Kollisionen mit z.B. Solarpanelen, die einen möglichen Ausfall eines Satelliten zur Folge haben.

4.4.8 Zur weiteren zeitlichen Entwicklung der ausgebrachten Trümmerwolke

Die ausgebrachte Trümmerwolke bzw. die sie bildenden Metallkugeln unterliegen, ebenso wie z.B. Satelliten auf Umlaufbahnen, den schon in Kap. 4.4.2 genannten Kräften. D.h. sie bewegen

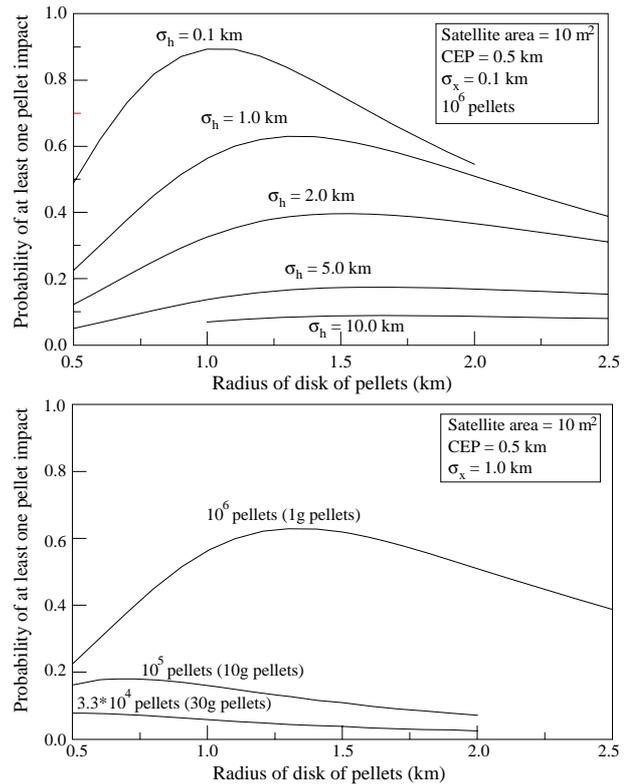
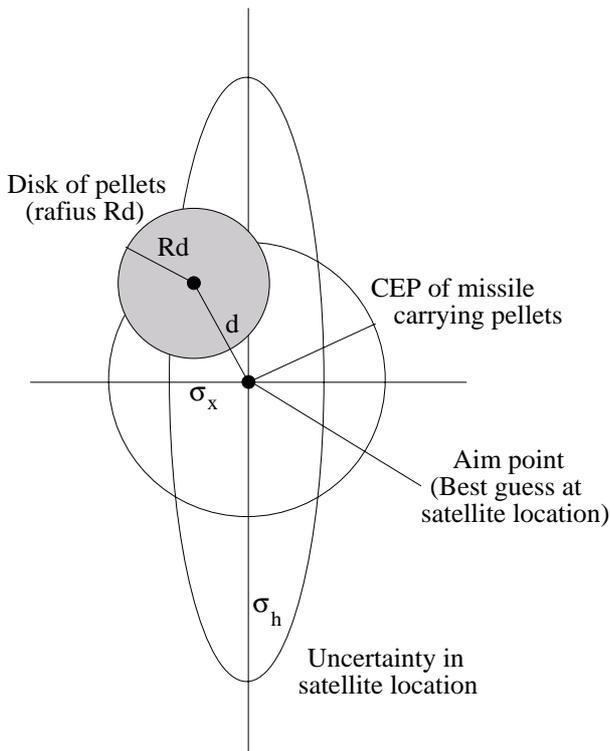


Abbildung 4.18: Kollisionswahrscheinlichkeiten nach D. Wright. [Wri04]

sich nicht beliebig im Raum, sondern abhängig von z.B. ihrer Höhe und Geschwindigkeit können sie auf die Erde zurückfallen, in eine Umlaufbahn einschwenken oder möglich ist auch das Verlassen des Gravitationsfeldes der Erde.

Zur Bestimmung der Bewegung der Metallkugeln nach der Zündung des Sprengstoffes der Nutzlast wurde ebenfalls das in Kap. 4.4.2 zur Modellierung der Raketrajetorie verwendete Modell genutzt, die Schubkraft ist in diesem Fall zu jedem Zeitpunkt gleich Null. Die Abbildungen 4.19 sowie die Abb. A.3 bis Abb. A.6 im Anhang zeigen beispielhaft die weitere zeitliche Entwicklung ausgewählter möglicher Nutzlasten. Die bei der Berechnung verwendeten Höhen und Geschwindigkeiten ergaben sich aus Modellrechnungen verschiedener möglicher Nutzlasten in Verbindung mit den Modellergebnissen des zweistufigen Raketentyps.

Die Abbildung 4.19 sowie Abb. A.3 bis Abb. A.6 zeigen exemplarisch die weitere zeitliche Entwicklung der Position einzelner Metallkugeln der Nutzlast. Ein einzelner Teilplot in den Abbildungen zeigt eine Ebene im Raum zu einem gegebenen Zeitpunkt nach der Zündung des Sprengstoffes der Nutzlast. Der jeweilige Zeitpunkt ist in der Kopfzeile eines Einzelplots gegeben¹⁰⁴. Im Zentrum eines Einzelplots ist die Erde in Form eines Kreises symbolisiert, die sich ausbreitenden Metallkugeln aus der Nutzlast sind durch Punkte symbolisiert. Der die Nutzlast tragende zweistufige Raketentyp wurde bei den Koordinaten (0, Erdradius) in Richtung positiver Längenangaben an den Achsen gestartet, die jeweils verwendeten Angaben zu Beschreibung der Nutzlast sowie die Höhe der Nutzlast zum Zündzeitpunkt sind in den Abbildungsbeschriftungen genannt.

Den Abbildungen ist zu entnehmen, dass die Metallkugeln der in den gezeigten Abbildungen

¹⁰⁴Man achte bei der Gegenüberstellung der Abbildungen ggf. auf die verschiedenen zeitlichen Schrittweiten zwischen den Einzelplots: $\Delta t = 300\text{s}$ in den Abb. 4.19, Abb. A.3 und Abb. A.4 bzw. $\Delta t = 100\text{s}$ bei Abb. A.5 und Abb. A.6.

angenommenen Nutzlasten nicht in eine dauerhafte Umlaufbahn um die Erde gehen. Die aus der Raketenbewegung und der Explosion des konventionellen Sprengstoffs resultierenden Geschwindigkeiten der Metallkugeln reichen dazu nicht aus. Für die angenommenen Startwinkel und Nutzlasten vergehen zwischen 1000s und 4200s (17min. bzw. 70min.), bis die letzte der Metallkugeln die Erdoberfläche wieder erreicht hat. Ähnliches ist auch für andere Annahmen von Startwinkeln und Nutzlasten zu erwarten, siehe dazu auch eine Abschätzung bezüglich nötiger Bahngeschwindigkeiten in Kap. A.2.

Aus Sicht eines möglichen Angreifers bedeutet dies, dass ein Angriff auf einen Zielsatelliten mit „einfachen“ technischen Mitteln bereits im „ersten Anlauf“ erfolgreich sein muss. Die ausgebrachten Metallkugeln verbleiben nicht lang genug in der Bahnnähe des Zielsatelliten, um diesen bei seiner Wiederkehr erneut zu gefährden¹⁰⁵. Durch den Rückfall der Kugeln auf die Erde besteht eine Gefährdung für Satelliten auf Bahnhöhen zwischen „Erdboden“ bis hinauf zu den erreichbaren Höhen einzelner Metallkugeln.

Insgesamt kann gefolgert werden, dass ein Land mit begrenzten technologischen Möglichkeiten, nicht sicher sein kann, mit einem Schrottwolkenszenario gegnerische Satelliten auszuschalten. Nur führende, Raumfahrt betreibende Staaten wie die USA, Russland und die EU hätten die Möglichkeit dazu. China und Indien könnten diese Fähigkeit in 5-10 Jahren erlangen.

¹⁰⁵Die Situation stellt sich anders dar, falls ein Angreifer Fähigkeiten einer Raumfahrt treibenden Nation aufweisen kann, d.h. falls er über Träger und Wissen verfügt, um signifikante Nutzlastmassen in eine Erdumlaufbahn zu bringen. Trümmer/Kugeln könnten dadurch in eine zeitlich längerfristige Umlaufbahn gebracht werden und würden sich bedingt durch Störungen im Gravitationsfeld der Erde über den Orbit verteilen, Einzelheiten finden sich in [WD04]. Inwieweit dadurch sich in paralleler Umlaufbahn befindliche Satelliten gefährdet werden bedarf der weiteren Untersuchung (bedingt durch die geringen Relativgeschwindigkeiten zwischen Satellit(en) und Trümmern bei parallelem Umlauf). Mit Sicherheit sind die einen solchen Orbit kreuzenden Satelliten/Raumfahrzeuge gefährdet.

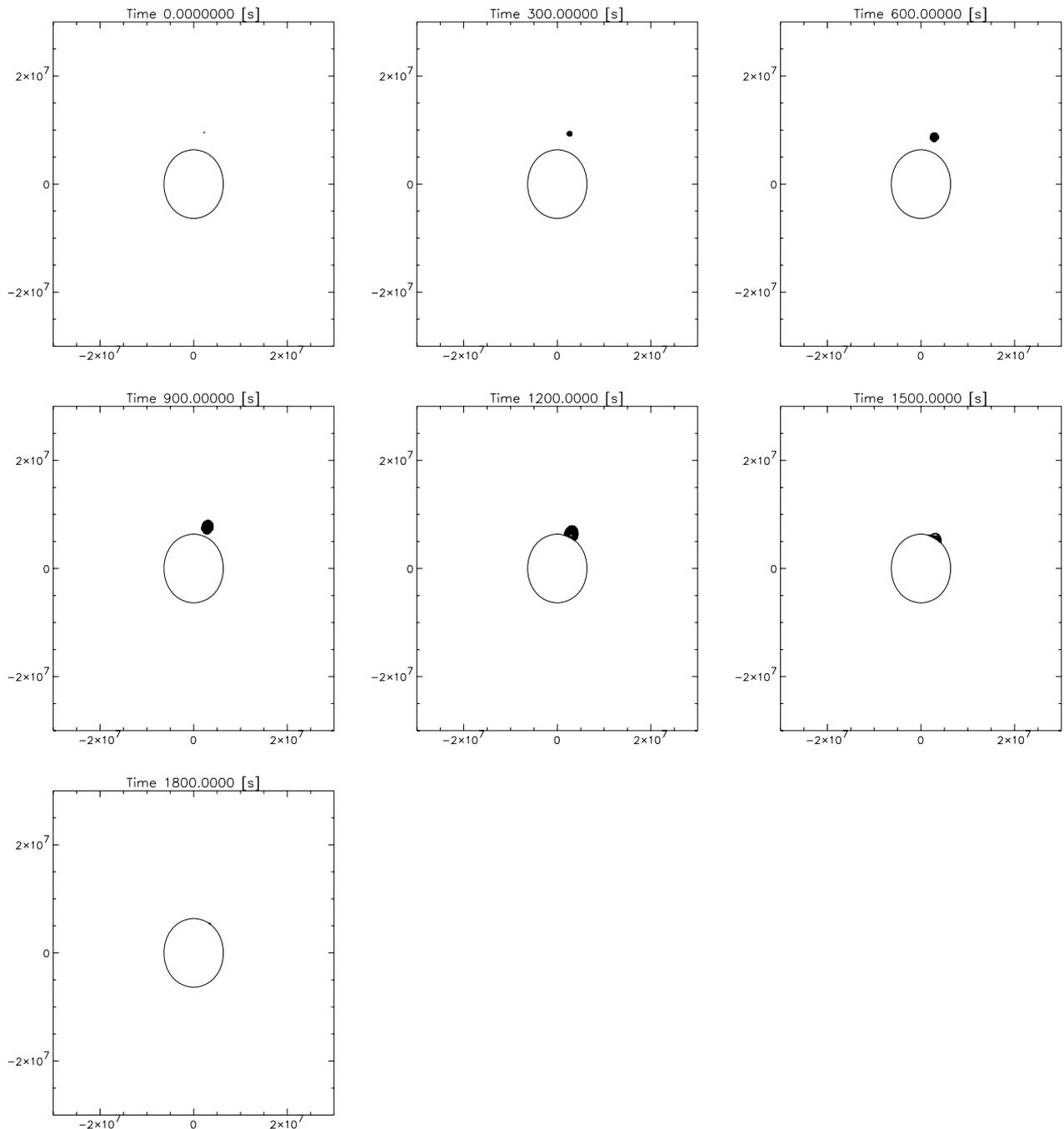


Abbildung 4.19: Zur zeitlichen Entwicklung einer Nutzlast (1). Gezeigt ist die Position der Kugeln (eine Ebene, Azimut von 0° bzw. 180°) relativ zur Erde (Mittelkreis) zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Zünden des Kerns der Nutzlast (Zündzeitpunkt bei $t = 0$ s). Die Gesamtmasse der Nutzlast betrug etwa 700kg, die Masse des Sprengstoffs betrug 70kg. Die Rakete wurde unter einem Winkel von $\theta = 15^\circ$ gestartet. Die Zündung erfolgte bei maximaler Höhe der Rakete über dem Erdboden von $h \approx 3428$ km. Der Radius der Metallkugeln wurde gleich 0,01m, das Geschwindigkeitsverhältnis von innerer und äußerer Kugelschale α wurde gleich zwei angenommen. Die Achsen geben Längenangaben in Metern an.

5 Rechtliche Aspekte und Optionen für (präventive) Rüstungskontrolle im Weltraum

Mit dem Beginn des Weltraumzeitalters in den fünfziger Jahren entwickelten sich auch die Bestimmungen des Weltraumrechts. Das internationale Weltraumrecht wird bis heute durch zahlreiche Resolutionen der UN-Vollversammlung und durch völkerrechtliche Verträge geregelt. Im seinem Zentrum steht der Weltraumvertrag von 1967, die im Mondvertrag enthaltenen Prinzipien, eine Reihe von Entschlüssen und Prinzipienkatalogen der UN-Generalversammlung sowie eine wachsende Fülle von Fallrecht.¹⁰⁶ Das Weltraumrecht legt den Rahmen fest, um die Militarisierung des Weltraums in Grenzen zu halten und Streitigkeiten über seine zivile Nutzung einzuschränken. Entsprechend dem Artikel I.1 der sog. „Menschheitsklausel“ des Weltraumvertrages soll die Nutzung des Weltraums „im Interesse aller Staaten“ und der „Menschheit als Ganzes“ erfolgen. Nach allgemeinem Völkerrechtsverständnis ist der Weltraum also ein hoheitsfreier Gemeinschaftsraum, der von allen Staaten genutzt werden soll.¹⁰⁷ Dieses Kapitel untersucht wie „robust“ das Weltraumrecht angesichts der zu erwartenden technologischen politischen Dynamik ist und diskutiert die international bekannt gewordenen Vorschläge zur Verhinderung eines Wettrüstens im Weltraum.

5.1 Das Weltraumrecht und weitere Abkommen

Der Entwicklungs- und Entstehungsprozess von Regelungen den Weltraum betreffend begann etwa in der zweiten Hälfte der 50er Jahre. Er wurde sowohl durch militärische als auch zivile Interessen beeinflusst [PCG03] und hat bis heute, im Vergleich zu anderen Vertragsfeldern, wenige Verträge und Übereinkommen hervorgebracht, die direkt das Miteinander im Weltraum regeln. Dies betrifft sowohl militärische als auch zivile Aspekte der Raumfahrt.

Der Wunsch nach einer friedlichen Nutzung des Weltraums wird in zahlreichen Resolutionen der Vollversammlung der Vereinten Nationen ausgedrückt, beginnend mit der 1958 verabschiedeten Resolution A/1348(XIII) [UN58] (siehe auch Kap. A.7). Diese äußert den Wunsch nach einer friedlichen Nutzung des Weltraums und der Vermeidung einer Ausweitung nationaler Rivalitäten in den Weltraum. Der Resolution folgte die Einrichtung eines *Ad Hoc Committee on the Peaceful Use of Outer Space (COPUOS)*, welches 1959 zu einem ständigen Ausschuss¹⁰⁸ umgewandelt wurde (Resolution 1472 (XIV) [UN59]). COPUOS behandelt Fragen der zivilen Nutzung des Weltraums, Aspekte der militärischen Weltraumnutzung liegen im Verantwortungsbereich der Genfer Abrüstungskonferenz (*Conference on Disarmament (CD)*). Im Rechtsunterausschuss von COPUOS wurden die bisherigen Instrumente des Weltraumrechts¹⁰⁹

¹⁰⁶Siehe dazu [Fis84].

¹⁰⁷Siehe dazu detailliert [Wol03].

¹⁰⁸Dieser verfügt über zwei Unterausschüsse, die jeweils einmal im Jahr zusammen treten: einen für juristische und einen für wissenschaftlich-technische Fragen. Für weitere Einzelheiten siehe [NKR02, Seite 199ff, Kap. 5.3.2]

¹⁰⁹Die Generalversammlung (GV) der Vereinten Nationen kann keine neuen Rechte und Pflichten für die Mitgliedstaaten schaffen. Die Resolutionen der GV sind völkerrechtlich nicht verbindlich, sondern haben lediglich empfehlenden Charakter. Ihre Rolle beschränkt sich auf die Erörterung und Formulierung von Rechtsinstru-

erarbeitet, darunter fünf Verträge und Übereinkommen sowie fünf Erklärungen und Prinzipienkataloge:

1. Der Vertrag vom 27.1.1967 über die Grundsätze zur Regelung der Tätigkeiten von Staaten bei der Erforschung und Nutzung des Weltraums einschließlich des Mondes und anderer Himmelskörper (Weltraumvertrag oder *Outer Space Treaty (OST)*) [UN67].
In Kraft getreten am 10. Oktober 1967, von 98 Staaten ratifiziert und 27 anderen unterzeichnet (Stand: 1.1.2003).
2. Das Übereinkommen vom 22.4.1968 über die Rettung und Rückführung von Raumfahrern sowie die Rückgabe von in den Weltraum gestarteten Gegenständen. (Weltraumrettungsübereinkommen) [UN68].
In Kraft getreten am 3. Dezember 1968, von 88 Staaten ratifiziert und 25 anderen unterzeichnet sowie eine Erklärung¹¹⁰ (ESA)(Stand: 1.1.2003).
3. Das Übereinkommen vom 29.3.1972 über die völkerrechtliche Haftung für Schäden durch Weltraumgegenstände (Weltraumhaftungsübereinkommen) [UN72].
In Kraft getreten am 1. September 1972, von 82 Staaten ratifiziert und 25 anderen unterzeichnet sowie zwei Erklärungen (ESA und EUTELSAT¹¹¹) (Stand: 1.1.2003).
4. Das Übereinkommen vom 14.1.1975 über die Registrierung von in den Weltraum gestarteten Gegenständen (Weltraumregistrierungsübereinkommen) [UN75].
In Kraft getreten am 15. September 1976, von 44 Staaten ratifiziert und vier anderen unterzeichnet sowie zwei Erklärungen (ESA und EUMETSAT¹¹²) (Stand: 1.1.2003)
5. Das Übereinkommen vom 18.12.1979 zur Regelung der Tätigkeiten von Staaten auf dem Mond und anderen Himmelskörpern (Mondvertrag) [UN79].
In Kraft getreten am 11. Juli 1984, von 10 Staaten ratifiziert und 5 anderen unterzeichnet (Stand: 1.1.2003).
6. Die Erklärung vom 13.12.1962 betreffend die Rechtsprinzipien bei der Erkundung und Nutzung des Weltraums; Resolution 1962 (XVIII) [UN62].
7. Die Prinzipien vom 10.12.1982 betreffend den Einsatz von künstlichen Satelliten für internationale Direktfernsehsendungen durch Staaten (GA Resolution 37/92) [UN82].
8. Die Prinzipien vom 3.12.1986 betreffend die Erkundung der Erde aus dem Weltraum; GA Resolution 41/65 (Fernerkundungsprinzipien) [UN86].
9. Die Prinzipien vom 14.12.1992 zur Verwendung nuklearer Energiequellen im Weltraum; Resolution 47/68 (*Nuclear Power Sources (NPS)*) [UN92].
10. Die Erklärung vom 13.12.1996 zur internationalen Zusammenarbeit im Weltraum; Resolution 51/122 (*Space Benefits Resolution*) [UN96].

Militärische Aktivitäten oder eine Bewaffnung des Weltraums werden durch die o.g. Verträge bzw. Übereinkommen bedingt reguliert. Der Weltraumvertrag, zugleich der Grundpfeiler des Weltraumrechts, verbietet die Stationierung von Massenvernichtungswaffen im Erdorbit sowie

menten, welche von den Staaten als Staatsverträge zu unterzeichnen und zu ratifizieren sind. [NKR02]

¹¹⁰Declaration of acceptance of rights and obligations.

¹¹¹European Telecommunications Satellite Organization.

¹¹²European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites.

im Weltraum oder die Stationierung solcher Waffen auf Himmelskörpern. Der Vertrag sieht zudem eine ausschließlich friedliche Nutzung des Mondes und der anderen Himmelskörper vor und verbietet die Einrichtung und den Betrieb von Militärbasen, das Testen jedweder Waffentypen oder das Durchführen von Manövern auf diesen. Der Einsatz von Militärpersonal für wissenschaftliche Untersuchungen oder andere friedliche Zwecke wird nicht verboten. Der Mondvertrag erweitert den Weltraumvertrag zwar um das Verbot von Drohungen, Gewaltanwendungen oder sonstigen feindseligen Akten auf dem Mond und anderen Himmelskörpern sowie deren Nutzung zur Ausübung solcher Akte gegenüber der Erde, dem Mond, Raumfahrzeugen, deren Besatzungen oder von Menschen gemachten Weltraumobjekten, wurde aber insbesondere von den führenden Raumfahrt treibenden Nationen nicht unterzeichnet.

Aus dem Weltraumregistrierungsübereinkommen ergibt sich für die Unterzeichner die Auflage, Information über Startdatum, Startort und den Zweck eines Objektes im Weltraum zur Verfügung zu stellen. Die Disziplin der anzeigenden Staaten sowie der Grad der zur Verfügung gestellten Information ist heutzutage nur gering. Staaten sollten *as soon as practicable* Daten an die UN-Behörde in Wien mitteilen, tatsächlich dauert diese jedoch Wochen oder Monate.¹¹³ Es gibt übermäßige Verzögerungen bei der Ankündigung von Starts sowie unzureichend detaillierte Missionsbeschreibungen.

Neben den o.g. Instrumenten gibt (und gab) es mit Blick auf rüstungskontrollpolitische Maßnahmen im Weltraum weitere Abkommen¹¹⁴:

- Der Eingeschränkte Teststoppvertrag (*Limited* oder *Partial Test Ban Treaty (LTBT bzw. PTBT)*).
- Der Umfassende Teststoppvertrag (*Comprehensive Test Ban Treaty (CTBT)*).
- Das Raketentechnologie-Kontrollregime (*Missile Technology Control Regime (MTCR)*).
- Die Konvention über ein Verbot militärischer oder anderweitig feindseliger Anwendungen von Techniken zur Veränderung der Umwelt (*Environmental Modification Convention (ENMOD)*).
- *Strategic Arms Limitation Talks I (SALT I)*: ABM-Vertrag (s.u.) und Vorläufiges Abkommen zur Begrenzung von strategischen Offensiv-Waffen (1972, Dauer 5 Jahre).
- *Strategic Arms Limitation Talks II (SALT II)*, nicht in Kraft.
- *Strategic Arms Reduction Talks I (START I)* bleibt in Kraft nach Artikel II SORT.
- *Strategic Arms Reduction Talks II (START II)*, nie in Kraft und beendet durch „Folgevertrag“ (SORT) (s.u.).
- Der Vertrag über die Reduzierung strategischer Offensivwaffen (*Strategic Offensive Reductions Treaty (SORT)*).
- Der Vertrag zur Eliminierung von Kurz- und Mittelstrecken-Raketen (*Intermediate-Range Nuclear Forces (INF)*-Vertrag).
- Der Vertrag zur Begrenzung von Systemen zur Abwehr von ballistischen Raketen (*Anti-Ballistic Missile (ABM) Treaty*), von den USA zum 13. Juni 2002 gekündigt.

¹¹³2001 hatten die USA z.B. 141 von ihren etwa 2000 Satelliten nicht registriert. [DGKM04, S.25]

¹¹⁴Eine detaillierte Beschreibung findet sich z.B. in [Sch02, Wol03].

Diese verbieten den Test oder Einsatz von Nuklearwaffen im Weltraum, beschränken den Transfer bestimmter Raketentechnologien, bieten ein ausgeprägtes Verifikationsregime oder untersagen die Beeinträchtigung sog. Nationaler Technischer Mittel (*National Technical Means (NTM)*) der Verifikation (hierzu zählen auch Satelliten). Der mittlerweile obsoleete ABM-Vertrag zwischen der USA und Russland verbot zum einen die Entwicklung, den Test sowie die Stationierung strategischer Raketenabwehrsysteme mit Ausnahme fest auf dem Land stationierter Systeme. Zum anderen verpflichteten sich die beiden Vertragsparteien ausdrücklich, keine weltraumgestützten ABM-Systeme oder Bestandteile zu entwickeln, zu erproben oder zu dislozieren. Das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) kommt insgesamt zu dem Schluss, dass durch die vorhandenen Abkommen zwar Einschränkungen für die militärische Nutzung des Weltraums gegeben sind, doch erhebliche Lücken bleiben und das völkerrechtliche Normenwerk inadäquat zu werden droht [PCG03]. Mit Blick auf Regelungen für enge Grenzen bezüglich des Einsatzes von Weltraumwaffen sind unter den derzeitigen Regelungen zumindest erlaubt (in Anlehnung an [PCG03]):

- ASAT-Waffen, ausgenommen Massenvernichtungswaffen,
- die Stationierung und Nutzung von konventionellen Waffen im Weltraum,
- der Durchflug von Raketen durch den Weltraum,
- Satelliten zur Aufklärung, Kommunikation, Navigation etc. für militärische Zwecke sowie
- der Einsatz militärischen Personals für wissenschaftliche Untersuchungen oder andere friedliche Zwecke.

5.2 Rüstungskontrollpolitische Schwierigkeiten

Rüstungskontrollpolitische und völkerrechtliche Fragen hinsichtlich des Weltraums werden vor allem im Weltraumausschuss (COPUOS, s.o.) und der Genfer Abrüstungskonferenz (CD) diskutiert. Die Genfer Abrüstungskonferenz ist das einzige ständige, globale und multilaterale Verhandlungsforum für Fragen der Abrüstung, Rüstungskontrolle und Nichtverbreitung.¹¹⁵

Unter dem Titel PAROS (*Prevention of an Arms Race in Outer Space*) hatte die CD in der Zeit zwischen 1985 und 1994 ein Komitee zur Verhinderung eines Wettrüstens im Weltraum. Obwohl sich seit 1995 mehrere Staaten für die Wiedereinrichtung eines solchen Komitees aussprechen, existiert ein solches zur Zeit nicht. Vielmehr ist die gesamte CD aufgrund von tiefgreifenden Meinungsunterschieden zwischen wichtigen Mitgliedsländern blockiert. Den eher bi- und multilateralen Ansätzen befürwortenden Staaten stehen die – vor allem seitens der USA geprägten – unilateralen Haltungen gegenüber. Insbesondere China zeigt sich besorgt über die Pläne der USA bzgl. des Aufbaus einer Raketenabwehr. Zudem zeigt sich China besorgt über eine drohende Rüstungsspirale im Weltraum und hält, im Gegensatz zu den USA, das bestehende Weltraumregime für unzureichend. Es hat Verhandlungen in der CD über andere Themen an eine Intensivierung der Bemühungen bzgl. des Problems einer möglichen Weltraumbewaffnung gekoppelt, so z.B. die Verhandlungen über ein Verbot der Produktion von spaltbarem Material für Waffenzwecke (*Fissile Materials Production Cut-Off Treaty (FMCT)*).

¹¹⁵Die CD ist formal von den Vereinten Nationen (VN) unabhängig, dennoch aber eng an diese gebunden. Sie bildet das Instrumentarium des globalen Abrüstungs- und Rüstungskontrolldialogs, gemeinsam mit dem Ersten Ausschuss der VN-Generalversammlung und der VN-Abrüstungskommission. Die CD bestimmt selbst über z.B. Mitgliedschaft, Arbeitsprogramm oder Verfahrensfragen. Ihr gehören derzeit 66 Staaten an (Stand 2004).

5.2.1 Zur Definition einer Weltraumwaffe

Die adäquate Definition von Weltraumwaffe bereitet ebenfalls Schwierigkeiten. Eine Weltraumwaffe muss nicht notwendigerweise allein im Weltraum stationiert sein. Vielmehr kann zwischen im Weltraum stationierten Waffen, gegen Objekte im Weltraum gerichtete Waffen und den Weltraum durchquerende Waffensysteme unterschieden werden (vgl. Abb. 5.1). Im Welt-

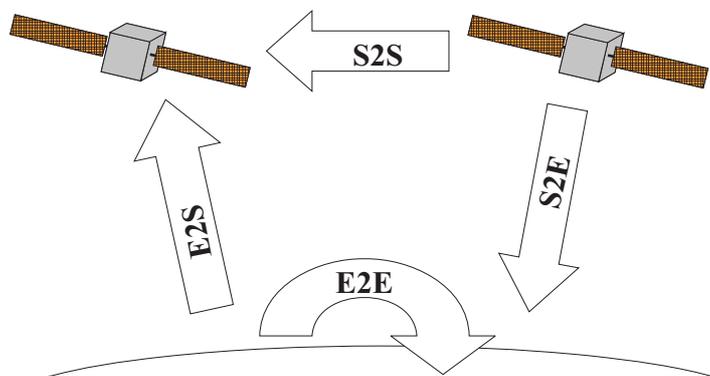


Abbildung 5.1: Illustration zur Definition einer Weltraumwaffe. Zur näheren Erläuterung siehe Text.

raum stationierte Waffen können sowohl gegen Ziele im Weltraum gerichtet sein (*space-to-space* (*S2S*)), oder aber auch zur Bekämpfung von Zielen auf dem Erdboden bzw. im Luftraum bestimmt sein (*space-to-earth* (*S2E*)). Zudem können bodengestützte Waffen eingesetzt werden, um Objekte im Weltraum zu bekämpfen¹¹⁶ (*earth-to-space* (*E2S*)). Unter die Definition einer Weltraumwaffe könnte man auch bodengestützte Waffensysteme fassen, welche zwar gegen Bodenziele gerichtet sind, dabei aber den Weltraum kurzzeitig durchqueren (*earth-to-earth* (*E2E*)). Hierzu zählen Interkontinentalraketen (*Intercontinental Ballistic Missiles (ICBMs)*) und auch das geplante „Weltraumflugzeug“ *space plane*¹¹⁷.

Die Charakterisierung einer Weltraumwaffe kann, abgesehen vom Stationierungsort¹¹⁸, auch aus einer technischen oder politischen Sicht erfolgen. Mögliche Definitionen können dabei sowohl umfassenderer Natur sein (alle Waffen, die von der Erde in den Weltraum hinein, im Weltraum oder aus diesem heraus wirken), als sich auch auf einen Teilbereich beschränken (z.B. den Stationierungsort „im Orbit“ oder einen spezifischen Waffentyp wie z.B. der *Space Based Laser*). Definitionen können u.a. auf spezifischen Parametern oder technischen Listen basieren (z.B. die Nennung einzelner Waffentypen¹¹⁹ oder Angaben von Stationierungshöhen oder Mindestabständen zwischen Satelliten), rechtlichen Übereinkommen oder auf Beschreibungen, die einen absicht- bzw. zweckgebundenen Ansatz verfolgen (*purpose orientated*).

Die Grenze des Weltraums könnte z.B. in Relation zum (rechtlichen) Luftraum eines Landes (d.h. der Weltraum beginnt oberhalb der „Grenzlinie“, bei der der Luftraum endet¹²⁰) oder durch eine konkrete Höhenangabe definiert werden. Eine Weltraumwaffe könnte so auch auf der Definition des Weltraums selbst erfolgen (z.B. „stationiert im“, „nutzt den“ Weltraum).

¹¹⁶Wie z.B. das ALMV, vgl. Kap. 2.2 auf Seite 4.

¹¹⁷Zur Bedrohung von den Weltraum durchquerenden Waffen siehe z.B. [WSL02].

¹¹⁸Es ist dann eine Definition von „Weltraum“ nötig, siehe später im Text.

¹¹⁹Eine solche Angabe kann dabei sowohl kinetische Waffensysteme (*kill vehicle*) oder Strahlenwaffen abdecken, denkbar wäre aber auch die Nennung von „Trümmerteilen zur Verunreinigung von Umlaufbahnen“.

¹²⁰Der Luftraum selbst ist nicht durch eine Höhenangabe definiert, sondern durch Luftfahrzeuge selbst. Der Luftraum ist dort, wo Flugzeuge noch fliegen können.

Eindeutige Nennungen wie eine Liste von „illegalen“ Technologien erlauben möglicherweise ein schnelleres Erzielen eines Übereinkommens in Bezug auf Weltraumwaffen, bieten in der Regel aber nur kurzfristige Lösungen durch die Ächtung einer bestimmten Ausrüstung. Auf lange Sicht sollte ein absichts- bzw. zweckgebundener Ansatz gewählt werden, denn ein solcher kann auch zukünftige technische Entwicklungen abdecken, ohne diese im Einzelnen vorhersehen zu müssen. Zudem ließen sich durch eine zweckgebundene Definition bestimmte Waffensysteme mit Anti-Satellitenfähigkeiten von einer vertraglichen Begrenzungsregelung ausschließen, welche für verschiedene Akteure unverzichtbarer Bestandteil der Militärdoktrin sind. Hierzu gehören beispielsweise die Raketenabwehr der USA oder Interkontinentalraketen, welche den Weltraum in großen Höhen durchqueren und im Allgemeinen nicht als Weltraumobjekte angesehen werden. Durch die Möglichkeit eines derartigen Ausschlusses sind Diskussionen oder gar Verhandlungen zur umfangreichen Ächtung von Weltraumwaffen möglich, ohne bestehende und zukünftige (Militär-)Optionen zu beschneiden. Es kann so möglicherweise einer Blockadehaltung im Diskussionsprozess entgegengewirkt und eine größere Akzeptanz eines Vertrages erreicht werden. Eine nicht unerhebliche und nicht zu unterschätzende Rolle kommt auch der Überprüfbarkeit der Einhaltung von Rüstungskontrollabkommen, der Verifikation, zu. Diese kann sich insofern als schwierig erweisen, als das zum einen eine Überprüfung von Vertragsgegenständen durch einen absicht- oder zweckgebundenen Absatz bei der Definition einer Weltraumwaffe deutlich schwerer sein könnte, als im Falle einer Aufzählung von technischen Gegenständen. Zum anderen ist eine direkte Vor-Ort-Überprüfung nur durch immensen Aufwand möglich und nur wenige der potenziellen Vertragsparteien für ein Rüstungskontrollregime im Weltraum besitzen überhaupt eigenständige technische Fähigkeiten zur Raumfahrt. Es ist daher davon auszugehen, dass ein Großteil an Maßnahmen am Boden zu erfolgen hat. Dies erfordert sicherlich die Bereitschaft der Raumfahrt treibenden Nationen, z.B. Datenmaterial der Satellitenbeobachtung zur Verfügung zu stellen oder eingeschränkte Einblicke in Startvorbereitungen von Satelliten zu gewähren. Dies kann sicherlich nur unter der Obhut einer internationalen Organisation, z.B. den Vereinten Nationen, erfolgen. Mit Blick auf eine Obhut wünschenswerter ist sicherlich eine multinationale Regelung auf kooperativer Basis, welche zudem eine deutlich stärker vertrauensbildende Funktion hätte.

5.3 Einige Vorschläge zur Ächtung von Weltraumwaffen

Die existierenden Verträge, Übereinkommen und Regelungen setzen zwar eine hohe Norm im Bezug auf die Nutzung des Weltraums, bieten allerdings nur eine unzureichende Barriere im Hinblick auf eine mögliche Bewaffnung des Weltraums. Auch in Bezug auf die Nutzung der „Resource Weltraum“ im Allgemeinen weist das internationale Weltraumrecht erhebliche Lücken auf¹²¹. Insbesondere vor dem Hintergrund der technologischen Entwicklungen und der heutigen „Informationsgesellschaften“ haben sowohl die kommerzielle als auch die militärische Nutzung des Weltraums stark zugenommen. Auch ist die Anzahl der Raumfahrt treibenden Nationen bzw. der Akteure im Weltraumsektor gestiegen und damit die Zahl möglicher Interessenlagen oder z.B. auch Bedrohungsempfindungen.

Gegenüber den neuen Realitäten sowie den technologischen und kommerziellen Entwicklungen ist das Weltraumrecht veraltet. Inwieweit dies zu einer Bewaffnung oder gar einem Wettrüsten im Weltraum führt, ist schwer vorhersehbar. Es steht allerdings zu befürchten, dass durch die Einführung von Weltraumwaffen das derzeitige „quasi-anarchistische Nebeneinander“ der

¹²¹ Einige Verträge, deren Klauseln Einfluss auf Weltraumwaffen haben könnten, beziehen sich lediglich auf die früheren Raumfahrtmonopolisten Russland und USA. Z.B. der INF-Vertrag und das Verbot des Waffeneinsatzes gegen sog. *National Technical Means*, siehe auch Kap. 5.1.

zivilen und militärischen Infrastrukturen im Weltraum beendet werden könnte, da Staaten durch neue Fakten auch neue Regeln schaffen könnten. Eine Neubestimmung im Umgang mit dem Weltraum ist dringend geboten, wobei der Blick sich nicht allein auf eine Verhinderung einer Bewaffnung des Weltraums beschränken sollte.

Mögliche Regulierungsansätze können dabei sein [PCG03]:

1. Ein Ansatz (präventiver) Rüstungskontrolle,
2. Verbotstatbestände für Weltraumwaffen,
3. Vertrauens- und sicherheitsbildende Maßnahmen.

5.3.1 (Präventive) Rüstungskontrolle und der Weltraum

Rüstungskontrolle ist nach Harald Müller „der Versuch, Sicherheit nicht länger durch unilaterale Verteidigungs- und Rüstungspolitik, sondern durch das kooperative Einwirken auf das wechselseitige Rüstungsverhalten zu erreichen. Dabei wandeln sich je nach dem Stadium der Konfliktbeziehung zwischen den Gegnern/Partnern – die spezifischen Funktionen, Instrumente und Erscheinungsformen der Rüstungskontrolle.“ [Mül96, S. 405].

Ein Hauptziel von Rüstungskontrolle bleibt die Beherrschbarkeit militärischer Potentiale, zu denen nicht nur die stationierten Waffen und Streitkräfte, sondern auch die militärisch relevante Forschung und Entwicklung zu zählen ist. Insbesondere die vielfältigen Weltraumtechnologien gelten als ambivalent und für militärische wie zivile Zwecke verwendbar. Das Konzept der „Präventiven Rüstungskontrolle“ (PRK) zielt als eine Variante bzw. Weiterentwicklung der qualitativen Rüstungskontrolle darauf ab, rüstungstechnologische Innovationen zu minimieren, die als nachteilig für internationale Sicherheit und Frieden bewertet werden. Sie will noch nicht bestehende, aber durch technologische Innovationen in absehbarer Zukunft mögliche, militärische und anderweitig gefahreninduzierende Konsequenzen durch die Steuerung möglicherweise auch Blockierung bestimmter Entwicklungsstränge frühzeitig verhindern. Damit soll erreicht werden, dass

- technologische Rüstungswettläufe unterbunden werden,
 - die Weiterverbreitung von Waffen behindert wird,
 - neue destabilisierende militärische Optionen verhindert,
 - Kosten gespart und
 - Rüstungskontrollkriterien frühzeitig anerkannt und durchgesetzt werden.

Die Hauptziele einer solchen Rüstungskontrolle lassen sich nicht allein mit direkten Eingriffen in den Rüstungsablauf, d.h. durch Begrenzung oder Verbot von Waffensystemen, erreichen. Die Rüstungskontrollbemühungen haben sich vielmehr in verschiedene Maßnahmen ausdifferenziert: Geographische Maßnahmen (Entmilitarisierte Regionen oder Sicherheitszonen), Strukturelle Maßnahmen (Defensivorientierung von Streitkräftestrukturen), Operative Maßnahmen (Begrenzung von Manövern), Verifikationsmaßnahmen (Datenaustausch, Satellitenüberwachung, Inspektionen), Deklaratorische Maßnahmen (Verzichtserklärungen) sowie Kommunikations- und Konsultationsmaßnahmen. [NKR02]

Ziel der Idee präventiver Rüstungskontrolle im Weltraum wäre es, die Stationierung destabilisierender Technologien im Weltraum zu verhindern, um die Gefahr kriegerischer Auseinandersetzungen im oder aus dem Weltraum zu verringern. Zur Erreichung dieser Ziele gehören

ein ganzes Spektrum von Einzelmaßnahmen (siehe Tab. 5.1), die es umzusetzen gilt.¹²² Ein Einlassen auf künftige Beschränkungs- und Verbots Optionen ist dabei abhängig von den politischen Interessen, technologischen Fähigkeiten und militärischen Erfordernissen der Staaten, die militärische wie zivile Raumfahrt betreiben.

Maßnahmen	Beispiele
Geographische Maßnahmen	Keep-out Zonen zum Schutz bestimmter Satellitenbahnen (z.B. Geostationäre Bahnen) oder Objekte im Weltraum (z.B. die internationale Raumstation (International Space Station (ISS))
Strukturelle Maßnahmen	Verbot bestimmter Satellitenkonfigurationen (z.B. Mikrosatelliten oder Leitsysteme) oder Weltraummissionen zum Schutz von militärischen Satelliten (<i>Defensive Satellites</i> (DSATs))
Operative Maßnahmen	Entwicklungs- und Testverbot bestimmter Weltraumwaffen
Verifikationsmaßnahmen	Überwachung von Nutzlasten vor einem Weltraumstart oder Überwachung bestimmter Bahnbewegungen
Deklaratorische Maßnahmen	Selbstverpflichtung, keine Satelliten mit ASAT-Fähigkeiten zu entwickeln
Kommunikations- und Konsultationsmaßnahmen	Schaffung von internationalen Überwachungs- und Kommunikationskapazitäten

Tabelle 5.1: Einzelmaßnahmen für „Rüstungskontrolle im Weltraum“. [NKR02]

Gründe, die für präventive Rüstungskontrolle im Weltraum sprechen, sind die begrenzte Zahl der Akteure, in diesem Falle die Raumfahrt treibenden Nationen, die komplexen und teuren Technologien für Waffenzwecke sowie die guten Überwachungschancen im Weltraum. Der Weltraum ist ein transparentes Medium, in dem sich eine begrenzte Zahl von künstlichen Himmelskörpern auf vorausberechenbaren Bahnen bewegen. Im Sinne präventiver Rüstungskontrolle ist es durchaus möglich, Satellitenbahnen und Manöver international transparent zu überwachen. Die technischen Mittel dazu liegen jedoch heute bei den führenden Weltraummächten. Noch ist die Einführung von Weltraumwaffen ein Tabu. Die veränderten politischen und technologischen Rahmenbedingungen drohen jedoch an diesem Tabu zu rütteln (siehe Kapitel 3). Für die Verhinderung einer Weltraumbewaffnung dürfte entscheidend sein, die Argumente der Befürworter in der US-Administration zu widerlegen und dauerhafte und nachhaltige Regelungen für den Weltraum zu etablieren, an die sich möglichst viele Staaten halten.

5.3.2 Vorschläge von Staaten zur Verbesserung von *space security*

Seit Jahrzehnten machen einzelne Staaten immer wieder konkrete Vorschläge, um eine Weltraumrüstung zu verhindern.¹²³ So schlug die UdSSR 1981 der UN-Generalversammlung einen „Vertrag über das Verbot der Stationierung von Waffen jeglicher Art im Weltraum vor“. Hiernach ist das Einbringen von Weltraumwaffen in den Orbit ebenso verboten wie deren Installation im Orbit oder auf anderen Himmelskörpern. Eine modifizierte Version wurde 1983 eingeführt,

¹²²[NM00].

¹²³Zur Rüstungskontrolle im Weltraum siehe z.B. [O'H04, Kapitel 5] und [Wol03, Kapitel E, insbesondere die umfassende Literatur auf S. 428].

bei der die Bedrohung und der Einsatz von Gewalt auf Weltraumobjekte oder Himmelskörper verboten werden sollten. Zusätzlich sind das Testen und die Stationierung von Weltraumwaffen, ASAT-Waffen und der Gebrauch von bemannten Raumfahrzeugen zu militärischen Zwecken nicht erlaubt. Bereits 1978 hatte Frankreich die Gründung einer *International Satellite Monitoring Agency (ISMA)* vorgeschlagen. China legte 1985 ein Arbeitspapier vor, das ein Verbot von „Weltraumwaffen mit letaler und destruktiver Kraft sowie von militärischen Satelliten aller Art“ anstrebte. 1983 bis 1995 legte der US-Kongress der US-Regierung ein Testverbot für ASAT-Waffen auf, das solange Bestand haben sollte, solange sich die UdSSR daran hielt. Staaten wie Kanada, Schweden, Indien, Frankreich und Deutschland legten weitere umfassende Verbots- und Definitionsvorschläge vor.¹²⁴ Besonders aktiv in diesem Bereich hat sich auch Kanada gezeigt, das bereits 1998 die Einrichtung eines ad-hoc Komitees vorgeschlagen hat, um eine Aufrüstung des Weltalls zu verhindern. Frankreich und Deutschland haben ihre Besorgnis geäußert [AD02, S. 108-109]. In der Genfer Abrüstungskonferenz wurde ein Schutzregime für nicht-militärisch genutzte Satelliten in der Vergangenheit auch von der deutschen Regierung befürwortet. Im Bereich vertrauensbildender Maßnahmen wurden von der Bundesregierung 1986 Vorschläge zur Vermeidung ungewollter Eskalation in Krisensituationen gemacht.¹²⁵ Zudem wurden Studien zu vertrauensbildenden Maßnahmen oder Überlegungen zur Verifikation durchgeführt, auch in der VN-Generalversammlung wurde dem Thema Rechnung getragen (vgl. auch Resolutionen der 48. Generalversammlung der Vereinten Nationen [UN93c, UN93b, UN93d, UN93a]). Die überwiegende Zahl der CD-Mitglieder befürwortet weitergehende Schritte zur vertragsbasierten Verhinderung einer Weltraumbewaffnung.¹²⁶ Diverse US-Regierungen in der CD vertraten hingegen die Meinung, neue multilaterale Abkommen seien nicht nötig.

Im Juni 2001 legte die chinesische Delegation ein Arbeitspapier mit dem Titel „Mögliche Bestandteile eines künftigen international rechtlich verbindlichen Abkommens über die Verhinderung der Bewaffnung des Weltraums“ vor. Das Dokument enthält den Entwurf eines „Vertrages zur Verhinderung der Bewaffnung des Weltraums“ und macht u.a. Vorschläge hinsichtlich der vertraglichen Verpflichtungen, schlägt Maßnahmen zur Vertrauensbildung und Implementierung sowie die Einrichtung einer Vertragsorganisation vor (siehe hierzu auch [SH01, CD01]). Zudem werden Begriffsbestimmungen/Definitionen vorgeschlagen, etwa für die wichtigsten vertragsrelevanten Begriffe wie Weltraum, Waffe etc. An dieses Arbeitspapier knüpft der chinesisch-russische Vorschlag vom Juni 2002 [CRP02, CD02] (der Entwurf findet sich im Anhang, Kap. A.6) an. Er stellt eine moderate Version des Vorschlages aus dem Jahr 2001 dar (siehe auch [Sko02, Hu02]) und ist verstärkt auf Akzeptanz, Einfachheit und Umsetzbarkeit ausgelegt. Im Gegensatz zu dem Vorschlag von 2001 beinhaltet der Text keine Definition von *space weapons*. Auch wurde eine Forderung nach einem Testverbot und nach Verifikationsmaßnahmen fallengelassen. Der Vorschlag verbietet z.B. das Einbringen in die Umlaufbahn von „any object carrying any kinds of weapons“ und das Verbot des Rückgriffs „to the threat or use of force against outer space objects“. Der Entwurf erlaubt jedoch die Forschung und das Testen von am Boden stationierter Raketenabwehr. Wichtige Elemente eines künftigen Vertrages sind zudem Vertrauensbildende Maßnahmen (VBM) wie z.B. die Notifikation von Raketenstarts und die größere Transparenz bei Startanlagen. Die USA erklärte sich zwar zur weiteren Diskussion der Problematik bereit, Ziel einer solchen schien aus Sicht der USA allerdings nicht das von China angestrebte Erreichen von verbindlichen rechtlichen Regelungen zu sein. Zudem beharrten die USA darauf, dass zuerst die Verhandlung des für einen Vertrag zur Beendigung der Produktion

¹²⁴Siehe [Wol03, 431-433] oder [GA91].

¹²⁵Hierzu sind Beschränkungen niedriger Überflüge von Raumfahrzeugen, Vorab-Notifizierung von Starts, Mindestabstände und Sperrzonen sowie Konsultationsprozeduren zu zählen.

¹²⁶Eine Einzelanalyse verschiedener Staaten und Staatengruppen findet sich in [PCG03, S. 134-140].

von spaltbarem Material (*Fissile Material Cut-off Treaty*) stattfinden sollen. [Jav02]

Am 26. August 2004 bestärkten beide Delegationen ihren Wunsch nach Beginn von Verhandlungen für ein Regime zur Verhinderung eines Wettrüstens im All. Allerdings ist bis heute in der Genfer CD kein Fortschritt in dieser Hinsicht zu verzeichnen.¹²⁷ Das Forschungsinstitut der Vereinten Nationen UNIDIR hat zwischen 2003 bis 2004 für die Delegierten der CD hochrangig besetzte Briefings abgehalten, um Anstöße zu geben, bisher allerdings ohne Erfolg.

Vorschläge von wissenschaftlichen Institutionen und NGOs Insbesondere in den achtziger Jahren wurden rüstungskontrollpolitische und juristische Arbeiten (siehe z.B. [Jas91, CCS85]) zu Fragen der ASAT-Bewaffnung unter dem Eindruck des Ost-West-Konfliktes durchgeführt. Eine Studie des *Office of Technology Assessment* von 1984 behandelt die Frage von „Arms Control in Space“ unter den Gesichtspunkten der amerikanisch-sowjetischen Bipolarität [OTA84]. Auch detaillierte Studien zur Verifikation eines Verbots von Weltraumwaffen [CGA92, Cun89] und Studien zu Vertrauensbildenden Maßnahmen [UN94] liegen vor.

Von US-Wissenschaftlern wurden bereits in den achtziger Jahren Vertragsentwürfe zum Verbot von Weltraumwaffen vorgelegt.¹²⁸ Die amerikanische *Union of Concerned Scientist* ging 1983 mit einem Vertragsentwurf zum Verbot von Antisatellitenwaffen an die Öffentlichkeit. Im Wesentlichen soll die Zerstörung von Objekten in Weltraum und damit zusammenhängend entsprechende Tests verboten werden [UCS83]. Die *Federation of American Scientists* erarbeitete 1983 einen Vertragstext, in dem sowohl boden- wie auch weltraumgestützte Systeme verboten werden, soweit sie „in einem ASAT-Modus“ arbeiten. Auch eine sich mit Raketenabwehr beschäftigende Studie aus England bezieht die ASAT-Problematik mit ein [Bro98].

Die ethische Problematik einer militärischen Weltraumnutzung hat in den letzten Jahren verstärkte wissenschaftliche Aufmerksamkeit erfahren.¹²⁹ Vor dem Hintergrund der SDI-Pläne Präsident Reagans von 1983 legten deutsche Naturwissenschaftler am 7./8.06.1984 in Göttingen den Entwurf eines „Vertrags über die Begrenzung der militärischen Nutzung des Weltraums“ vor.¹³⁰ Verboten werden sollten Weltraumwaffen sowie die Entwicklung, das Testen und die Stationierung von Weltraumwaffen.¹³¹

Im US-Kongress gab ebenfalls Initiativen: Der Kongressabgeordnete Dennis Kucinich legte am 2. Oktober 2001 den Gesetzesentwurf H.R.2977¹³² zum Verbot aller Weltraumwaffen einschließlich Forschung, Entwicklung, Erprobung, Produktion und Stationierung vor (*Space Preservation Treaty*, auch in [SH02, S. 42–43] abgedruckt) vor, der jedoch nicht angenommen wurde.

Auf internationaler Ebene wurde der Gesetzesvorschlag vom „*Institute for Cooperation in Space*“ (ICIS) in einen Vertragstext umgewandelt.¹³³ Sowohl bezüglich des juristischen Gehalts als auch bezogen auf die Realisierung der Vorschläge erscheint der Text erheblich verbessere-

¹²⁷A Non-Paper by Chinese and Russian Delegation to the Conference on Disarmament, „Existing International Legal Instruments and Prevention of the Weaponization of Outer Space“, 26 August 2004.

¹²⁸Siehe die Sondernummer des Bulletin of the American Scientists, Mai 1984, Chicago, S.11 sowie [UCS84].

¹²⁹Siehe z.B. [HS99]. Die UNESCO hat eine Studiengruppe eingerichtet, die einen Bericht dazu vorgelegt hat (siehe [Pom00]).

¹³⁰Siehe [LMS84]. Der Vertragsentwurf orientierte sich an sowjetischen Vorschlägen sowie Vorschlägen kritischer US-Wissenschaftler für eine Begrenzung der Weltraumrüstung. Auch von Jasani/Hafner wurden Überlegungen vorgelegt [JH91].

¹³¹Der Vertragsentwurf wurde auf einer Fachtagung in Göttingen im November 2000 erneut diskutiert und aktualisiert. Auf Fachtagungen in Berlin wurden im November 2001 sowie Juni 2002 die Möglichkeiten der Aktualisierung des Göttinger Vertragsentwurfs und weitere Optionen der Rüstungskontrolle im Weltraum diskutiert [VDW02, KN02].

¹³²Siehe auch [LOC01]. Der Entwurf stand zur Diskussion im Kongress und am 1.5.2004 erfolgte vom zuständigen Ausschuss des *House of Representatives* diesbezüglich eine Anforderung an das Verteidigungsministerium (*Department of Defense*) nach einer Stellungnahme [LOC04].

¹³³Zur Umsetzung siehe [RW02].

rungswürdig zu sein (siehe hierzu [Ken02]). Im September 2001 schlug Senator Robert C. Byrd ein Moratorium für alle Weltraumprogramme der USA vor.¹³⁴ Obwohl ein Befürworter der Verwendung von Hochtechnologie für militärische Zwecke, so rief er doch zu einer Entwicklungspause und einer verstärkten Diskussion im US-Kongress auf. Er verwies darauf, dass die getätigten Investitionen nicht durch eine Bedrohungslage zu rechtfertigen sind und der zukünftige Haushalt nicht mit dem Tempo an Investitionen Schritt halten kann. Dabei bezog er auch die Stationierung der Raketenabwehr mit ein. [Byr01]

Im April 2001 schlug Rebecca Johnson vom *Acronym-Institute*, Großbritannien, Verbotsoptionen in Erweiterung und Stärkung des Weltraumvertrages vor. Der Vorschlag umfasste neben der Stationierung und dem Einsatz von Weltraumwaffen auch die Erprobung von Antisatellitenwaffen sowie einen *Code of Conduct* für die Nutzung des Weltraums [Joh01]. Mit Blick auf eine mögliche Umsetzung wurde auch eine Wiederholung des Prozesses zur Ächtung von Landminen („Ottawa-Prozesses“) im Bereich der Rüstungskontrolle im Weltraum angeregt.

Vorschläge zu Verbotstatbeständen – aber auch explizit zulässigen Nutzungsmöglichkeiten – kamen auch von James C. Moltz, um die Öffentlichkeit und Teile des Kongresses in den USA auf die Problematik der Weltraumwaffen aufmerksam zu machen. Die Vorschläge umfassten Verbote bzgl. Test und Einsatz von Waffen gegen weltraumgestützte Objekte oder deren Stationierung oberhalb einer Höhe von 800 km. Erlaubt sein sollen Tests¹³⁵ von Interzeptoren im LEO (bis 800 km) gegen ballistische Raketen [Mol02, S. 8]. D.h. der Vorschlag verbietet Projekte wie den *SBL* oder *Brilliant Pebbles* sowie ASAT-Technologien, berührt das Raketenabwehrprogramm aber nicht. Neben einer möglichen höheren Akzeptanz sieht Moltz sogar in den amerikanischen Geheimdiensten potenzielle Verbündete für die Etablierung eines wirksamen Rüstungskontrollregimes im Weltraum, da Waffentests zu Problemen mit den eigenen Aufklärungssatelliten (optisch / elektronisch) führen könnten und die USA dadurch ihre Fähigkeit der Verifikation wichtiger Rüstungskontrollabkommen verlieren könnten. [Mol01, S. 93]

Auch John Rhineland und Phil Coyle verweisen auf ein Interesse der USA zur Regelung von Waffen im Weltraum. Insbesondere die Verhinderung von *shooters* im Weltraum läge im Interesse der USA, da solche den überlegenen passiven Militärkapazitäten im Weltraum gefährlich werden könnten. [CR02]

Einen weniger restriktiven Vorschlag präsentierten Singer/Sands mit der Forderung nach einem Verbot aller militärischen Aktivitäten oberhalb geosynchroner Umlaufbahnen [SS01, S. 2]. Die Intention lag dabei auf der Erreichbarkeit überhaupt eine Regelung im blockierten PAROS-Forum.

Die Vielfalt dieser Vorschläge zeigt zum einen, dass ein breites Spektrum von Maßnahmen und Beschränkungsoptionen in den vergangenen Dekaden erarbeitet und aktualisiert worden ist. Zum anderen zeigen sie die Dringlichkeit für eine adäquate Behandlung der Problematik einer Bewaffnung im Weltall auf. Vor diesem Hintergrund gilt es die nächsten Schritte zur Ächtung von Weltraumwaffen aufzuzeigen.

5.3.3 Weitere Schritte zur Ächtung von Weltraumwaffen

Aus völkerrechtlicher Sicht gibt es im Wesentlichen vier Wege zur Begrenzung bzw. dem Verbot militärischer Optionen im Weltraum [IAS05]:

¹³⁴„Bush proposes to invest many billions of dollars to achieve military superiority in a new realm, where there currently is no threat, jeopardizing the economic health of the nation and creating instability and mistrust in the hearts of other nations. This will occur unless the citizenry and its elected representatives - we members of the House and U.S. Senate - especially us - consider and agree upon this course of action.“ [Byr01].

¹³⁵Einschließlich der Begrenzung und Notifikation solcher Tests zur Vermeidung von Weltraumtrümmern.

1. Der Erhalt des völkerrechtlichen Status-Quo.
2. Die Stärkung vorhandener internationaler und nationaler Regime.
3. Multilaterale Anstrengungen zur Erweiterung internationaler Regelungen.
4. Initiierung und Anpassung einseitiger Erklärungen einzelner Staaten.

Im Folgenden werden einige wesentliche Aspekte dieser Optionen beleuchtet.¹³⁶

5.3.3.1 Der Erhalt des völkerrechtlichen Status-Quo

Die Option, den augenblickliche Status-Quo des Weltraumrechts beizubehalten, fußt auf der Annahme, es seien keine destabilisierenden Entwicklungen zu erwarten. Dieser Weg setzt darauf, dass die vorhandenen Regime wie z.B. der Weltraumvertrag und die damit zusammenhängenden Konventionen (siehe 5.1) nach Meinung der wichtigsten Raumfahrtstaaten ausreichen, um die „friedliche“ Nutzung des Weltraums zu gewährleisten und unliebsame Überraschungen seien regulierbar. Weitergehende Initiativen seien nicht nötig. Insbesondere die augenblickliche US-Regierung vertritt diesen Standpunkt. Vor dem in dieser Studie beschriebenen technologischen und sicherheitspolitischen Hintergrund ist davon auszugehen, dass die vorhandenen Regelungen nicht ausreichen, um den Status-Quo auf Dauer zu erhalten.

5.3.3.2 Die Stärkung vorhandener internationaler Regime

Während die o.g. Option keinerlei neue Initiativen erfordert, verlangt eine Reformierung oder Neubestimmung der völkerrechtlichen Grundlagen die Verbesserung, Anpassung oder verstärkte Implementierung vorhandener Verträge, insbesondere des Weltraumvertrages. Eine vertragstechnisch einfache Lösung ist, den Artikel IV Weltraumvertrages, der ein Stationierungsverbots von Massenvernichtungswaffen im Weltraum ausspricht, durch eine Ausweitung auf jede Art von Weltraumwaffen zu ergänzen, etwa durch Einfügung von des Elements „any kind of weapon“ in Absatz 1.¹³⁷ Kritiker bemerken, dass dies den Artikel IV eher aushöhlen könnte. Zumindest ein Zusatzprotokoll wäre nötig, um den Begriff „any kind of weapon“ festzulegen. Weitere Möglichkeiten bestehen in der „Wiederbelebung“ gültiger Abkommen. Zum einen ist hierzu eine Initiative für die intensiviertere Ratifikation vorhandener Verträge und Abkommen denkbar.¹³⁸ Der Aufzählung der Verträge und Übereinkommen in Kap. 5.1 hat die teilweise geringe Ratifikationsbereitschaft mancher Staaten deutlich gemacht. Dies gilt beispielsweise nicht nur für den Weltraum- oder Mondvertrag, sondern auch für die ENMOD-Konvention. Die Wirkung vorhandener Abkommen könnte erhöht werden, wenn Staaten regelmäßiger, frühzeitiger und genauer Daten über geplante Raketenstarts sowie genaue Angaben der Nutzlast im Rahmen des Registrationsabkommens von 1975 mitteilen würden. Zum anderen könnte das Prinzip der „*Non-Interference with National Technical Means*“ multilateralisiert werden.¹³⁹ Durch eine rechtsverbindliche Erklärung auf UN-Ebene könnte sichergestellt werden, dass es Staaten verboten ist, Waffen gegen die so genannten weltraumgestützten *National Technical Means*

¹³⁶Umfassende Überlegungen finden sich bei [Wol03, PCG03] und dem Arbeitspapier des Institute of Air and Space Law 2005 [IAS05].

¹³⁷Dies schlug Italien 1968 und 1978 in der VN-GV vor und legte dazu 1979 den Entwurf eines Zusatzprotokolls zum OST in der CD vor. Siehe: Official Record of the General Assembly A/ 7221, 9.9. 1968; A/AC. 187/97 vom 1.2.1978.

¹³⁸Die 3. UN Konferenz zum Weltraum (UNISPACE III) 1999 und UNCOPOUS haben die Staaten, die die Abkommen des Weltraumrechts noch ratifiziert haben, die so bald wie möglich zu tun.

¹³⁹Die Verträge START-, KSE- und INF enthalten solches Klauseln, vgl. Kap. 5.1.

(*NTM*) einzusetzen. Diese „Schutzklausel“ sollte auf alle zivilen und militärischen Weltraumobjekt erweitert werden. Eine Schutzklausel für NTMs könnte z.B. auch in Form einer UN-Resolution eingebracht werden. Zu Dritten könnten Staaten den Konsultationsmechanismus des Weltraumvertrages vermehrt nutzen, der bisher nicht benutzt wurde.¹⁴⁰ So könnten wichtige Mitgliedsstaaten wie Russland, Kanada, Schweden, Deutschland diplomatische Initiativen ergreifen, wenn Staaten z.B. Anzeichen für einen bevorstehenden ASAT-Test haben. Dies setzt jedoch voraus, dass es öffentliche Informationen über solche einen Test gibt und dass der entsprechende politische Wille für internationale Aktivitäten vorhanden ist. In den vergangenen Jahren wurden weitere umfassende und diskussionswürdige Vorschläge gemacht.¹⁴¹

5.3.3.3 Multilaterale Schritte zur Erweiterung internationaler Regelungen

Eine längerfristige und dauerhafte Lösung dürfte wohl nur in der Errichtung eines umfassenden Verbots von Weltraumwaffen liegen (siehe nächster Abschnitt), an dem sich international die wichtigen Raumfahrttreibenden Staaten beteiligen. Wie in den Kapiteln 5.3.2 und 5.3.2 gezeigt, existieren bereits einige umfangreiche Vorschläge für umfassende Verbotsregime von Weltraumwaffen, um den Weltraum auf der Grundlage eines multilateralen Abkommens waffenfrei zu halten.¹⁴² Im Wesentlichen gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte, die zu einem umfassenden Verbot führen:

- a Die Implementierung von Vertrauensbildende Maßnahmen im Weltraum (VBMW)
- b Die Schaffung von Verhaltensverpflichtungen im Weltraum „Rules of the Road“
- c Der Beginn von Verhandlungen zu einer Errichtung eines Verbotsregimes.

Diese Maßnahmen können aufeinander aufbauen. Sie implizieren unterschiedliche Grade an Effizienz, Reichweite und Verifikation.

(a) Die Definition und Implementierung von VBMW

In der Geschichte der Rüstungskontrolle haben Vertrauensbildende Maßnahmen dort Eingang gefunden, wo auf Anhieb kein umfassender Vertrag zwischen Vertragsparteien zu erreichen war. Es gibt gute Argumente dafür, mit Vertrauens- und Transparenz bildenden Maßnahmen zu beginnen, indem Verfahren zur Verbesserung von Sicherheit in den Bereichen Weltraumtrümmer und Weltraumverkehr und eine Erweiterung der Angaben zur Notifikation von Satellitenstarts eingeführt werden. Bereits 1990 beauftragte die UN-Generalversammlung eine Gruppe von Regierungsexperten mit der Erarbeitung von Vorschlägen für VBMW.¹⁴³

Folgende Schritte für VBMW sind denkbar und werden international diskutiert:

- Einseitige Erklärungen von Staaten nicht als erste Weltraumwaffen einzusetzen,
- Schaffung eines Weltraumwaffen-Test-Moratoriums,

¹⁴⁰Der Art. IX sieht vor, dass „State to the Treaty which has the reason to believe that an activity or experiment planned by another State Party in outer space...would cause potentially harmful interference with activities in the peaceful exploration and use of outer space ... may request consultation concerning the activity or experiment.“

¹⁴¹Siehe [Mol02, S. 3-9] oder [Joh01].

¹⁴²Eine detaillierte Übersicht findet sich in [Wol03].

¹⁴³Sie umfasste Experten aus den USA, Russland, China, Frankreich, Kanada, Indien, Pakistan, Bulgarien, Ägypten, Argentinien, Brasilien und Zimbabwe, siehe GV-Resolution 45/55 B vom 4. Dezember 1990.

- Abkommen zum Schutz der internationalen Raumstation
- Verzicht von Staaten, Raketenabwehr im Weltraum für ASAT-Zwecke zu verwenden,
- Einhaltung und Ausbau von Weltraumschrott-Richtlinien
- Einführung eines globalen „Space Traffic Management“,
- Verhandeln einer unverbindlichen „Code of Conduct-Erklärung“,
- Gemeinsames Krisen-, Umwelt- oder Verifikationsmonitoring,
- Globales Kommunikationssystem oder Forschungsplattformen *On Demand*,
- Stärkere Kooperation der EU mit ähnlich denkenden Staaten: z.B. gemeinsame Inspektionen und Besuche

Diese Schritte bedürfen eingehender Diskussion auf staatlicher Ebene.

(b) Die Schaffung von „Rules of the Road“

Verhaltensregeln (*code of conduct*) zur Ächtung von Angriffen auf militärische und kommerzielle Satelliten müssten genauso wie Maßnahmen zur Verhinderung von Kollisionen im Weltraum („collision avoidance“) im Interesse aller Raumfahrt treibenden Nationen liegen. Bei Einführung von Weltraumwaffen müssten aufgrund des zusätzlichen Satellitenschutz gegen Strahlung und physische Einwirkungen die Kosten für Satellitenbau und Betrieb sich erheblich erhöhen. Zusätzlich zwingt die Zunahme von Raumfahrtakteuren und das Problem des Weltraumschrotts die Weltgemeinschaft Verfahrensweisen und ein besseres Traffic Management zu organisieren. Das Henry L. Stimson Center erarbeitete einen Vorschlag für einen *Code of Conduct* über gefährliche Weltraumaktivitäten [HLS04]. Andere Vorschläge aus dem akademischen Umfeld betonen die Notwendigkeit, einen Angriff auf die internationale Weltraumstation abzuwehren oder alle militärischen Aktivitäten jenseits des GEO zu ächten [SS01, (deutsch)], [SS02, (engl.)]. Jonathan Dean schlug vor, dass der Internationale Gerichtshof eine Stellungnahme darüber abgeben könnte, ob Tests und Stationierung von Weltraumwaffen im Einklang mit dem Schlüsselprinzip des OST stehen, der „friedlichen Nutzung der Weltraumaktivitäten“. P. Coyle und J. Rhinelanders sehen in der Einrichtung eines Gremiums von Staaten und anderen Akteuren die Chance, den OST um die Ächtung von Lasern im Weltraum zu ergänzen. [CR01] Es wäre sicher kostengünstiger, dies durch vertragliche Schritte zu erreichen. Auf internationaler Ebene gibt es erfreulicherweise verstärkte Regelungsanstrengungen zur Verhinderung von Weltraumschrott¹⁴⁴, zur Platzierung von Satelliten in bestimmten Orbits und zur Ausnutzung des Radiospektrums bei Kommunikationssatelliten. Diese Regelungen gilt es auszubauen und im Hinblick auf eine mögliche Weltraumbewaffnung zu stärken. Nach dem Ende des Kalten Kriegs ist es nicht nur an der Zeit für eine ernsthafte Debatte über ein zukünftiges Weltraumabkommen, sondern auch aktive Schritte für die Errichtung einer neuen Weltraumordnung zu tätigen, um den Weltraum waffenfrei zu halten.

¹⁴⁴Im Rahmen von UN-COPOUOS begann ein Unterausschuss 1994 mit der Ausarbeitung solcher Richtlinien und veröffentlichte 1999 einen technischen Report. 2001 bat UNCOPOUOS die *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC)* allgemeine Richtlinien zur Linderung von Weltraumtrümmern zu erarbeiten. NASA und ESA entwickelten ebenfalls Standards. Siehe [CCE⁺05, S. 6,7]

(c) Der Beginn von Verhandlungen zu einem umfassenden Verbotsregime

Vorraussetzung für den Beginn von Verhandlungen ist die Erkenntnis und das Interesse der führenden Staaten, dass ein Verbotsregime für Weltraumwaffen sinnvoll, machbar und umsetzbar ist. Sondierungsgespräche oder Arbeitsgruppen in der UNO könnten hier vorbereitend wirken. Weder in der Genfer Abrüstungskonferenz noch im Rahmen der Vereinten Nationen in New York ist dies in der Vergangenheit erreicht worden. Eine weitere Voraussetzung wäre ein Stimmungswandel in den USA bzw. bei der jeweiligen Administration. Angesichts der negativen Rüstungsbilanz der Bush-Administration ist solch ein Schritt vorerst nicht zu erwarten. Dennoch ist möglich, dass eine künftige US-Administration das Thema wieder aufgreift. Die Verhandlungen könnten mit dem Ziel gestartet werden, eine Agenda und das mögliche Ziel eines Verbotsabkommens festzulegen. Elemente eines zukünftigen umfassenden Weltraumkontrollregimes lassen sich bereits in bestehenden Verträgen finden (z.B. im OST), wie auch in zurückliegenden Vorschlägen [UCS84, LMS84]. Vorschläge für wichtige Elemente wurden bereits von Russland und China gemacht. Kanada legte zur „non-weaponization of outer space“ 1999 und 2001 wichtige Arbeitspapiere für einen Vorschlag zur Aushandlung einer „Convention for the Non-weaponization of Outer Space“ vor, auf die sich aufbauen läßt.¹⁴⁵

Ein robustes und nachhaltiges Weltraumwaffen-Übereinkommen benötigt einen klaren Verbotstatbestand inkl. umfassender Definitionen der Verbots Elemente, einen Durchsetzungsmechanismus sowie eine Hürde, die einen Rückzug aus dem Vertrag erschwert. Mögliche Definitionen können dabei sowohl umfassenderer Natur sein und alle Waffen charakterisieren, die von der Erde in den Weltraum hinein, im Weltraum oder aus diesem heraus wirken, als sich auch auf einen Teilbereich beschränken (z.B. den Stationierungsort „im Orbit“ oder einen spezifischen Waffentyp wie den Space Based Laser). Sie können unter anderem auf spezifischen Parametern oder technischen Listen basieren (z.B. die Nennung einzelner Waffentypen¹⁴⁶ oder Angaben von Stationierungshöhen oder Mindestabständen zwischen Satelliten), aber auch auf rechtlichen Übereinkommen oder auf Beschreibungen, die einen absicht- bzw. zweckgebundenen Ansatz verfolgen (purpose orientated). Die Grenze des Weltraums könnte z.B. in Relation zum (rechtlichen) Luftraum eines Landes (d.h. der Weltraum beginnt oberhalb der „Grenzlinie“, bei der der Luftraum endet¹⁴⁷) oder durch eine konkrete Höhenangabe definiert werden. Eine Weltraumwaffe könnte so auch auf der Definition des Weltraums selbst erfolgen (z.B. „stationiert im“, „nutzt den“ Weltraum).

Detlev Wolter hat aufbauend auf den Bestimmungen des OST die Hauptelemente eines multilateralen „KSW-Vertrages“ beschrieben. Im Wesentlichen geht es um die Einführung der Elemente gemeinsamer Sicherheit in ein neues Ausführungsabkommen zum OST. Wolter schreibt: „Ein Hauptgrundsatz des KSW-Vertrages besteht in der Bewahrung des waffenfreien Status des Gemeinschaftsraums durch das Verbot aktiver militärischer Nutzung des Weltraums.“¹⁴⁸

¹⁴⁵Canada: „The Non-Weaponization of Outer Space“ vom 5. Februar 2001 sowie CD/1569 vom 4. 2. 1999: „Proposal Concerning CD Action on Outer Space“, CD, Working Paper.

¹⁴⁶Eine solche Angabe kann dabei sowohl kinetische Waffensysteme (*kill vehicle*) oder Strahlenwaffen abdecken, denkbar wäre aber auch die Nennung von „Trümmerteilen zur Verunreinigung von Umlaufbahnen“.

¹⁴⁷Der Luftraum selbst ist nicht durch eine Höhenangabe definiert, sondern durch Luftfahrzeuge selbst. Der Luftraum ist dort, wo Flugzeuge noch fliegen können.

¹⁴⁸Hierzu gehören: Transparenz und Vertrauensbildung, Strukturelle Nichtangriffsfähigkeit, Nichtverbreitung und Abrüstung und weitere Elemente präventiver Rüstungskontrolle. Siehe: Grundlagen „Gemeinsamer Sicherheit“ im Weltraum: Ein Multilaterales Abkommen über Gemeinsame/Kooperative Sicherheit im Weltraum, in Vierteljahresschrift für Sicherheit und Frieden, 4/2005 (im Erscheinen).

5.3.3.4 Initiierung und Anpassung einseitiger Erklärungen einzelner Staaten sowie technologischer Optionen zur weiteren Vertrauensbildung

Einseitige Erklärung von Staaten auf eine Weltraumbewaffnung zu verzichten

Auch unilaterale Schritte können einen vertrauensbildenden Effekt haben und das günstige Klima für weitergehende Verhandlungen vorbereiten. Hierbei gibt es im Weltraumbereich bereits konkrete Schritte. So hat der russische Außenminister Igor Ivanov bei einer Rede vor dem First Committee der UN eine vor 20 Jahren abgegebene Verpflichtung Russlands wiederholt, nicht als erster Staat Weltraumwaffen zu stationieren. Er hat sich für ein Moratorium ausgesprochen, dass ein einvernehmliches Abkommen gegen eine Stationierung von Waffen im All zu gewalttätigen Zwecken beinhalten sollte. Wenn weitere Staaten wie China oder Staatengruppen wie die EU ähnliche Erklärungen abgeben bzw. selbst erste Schritte zu deren Überprüfung einleiten, dürfte sich die Vertrauensbildung verstärken und dabei zusätzlichen Druck auf die USA verstärken. Auch könnte Russland als weiteren vertrauensbildenden Schritt, den Status Ihres in den 70er Jahren getesteten ASAT-Systems offen legen oder ihres nuklearen Raketenabwehrsystems Galosh abbauen.

Verifizierbarkeit durch die internationale Gemeinschaft

Die Verifizierbarkeit eines zukünftigen Weltraumwaffen-Übereinkommens ist ein wichtiger Kernpunkt jedes zukünftigen Vertrags, der die Stationierung von Weltraumwaffen begrenzen oder ächten will [HS03a]. Verifikation bedeutet, vertraglich begrenzte Systeme (d.h. Geräte, Ausrüstung und Aktivitäten) zu kontrollieren und ebenso die Einhaltung auf der Basis von Beobachtungen und gesammelten Informationen abzuschätzen. Maßnahmen zur Erhöhung der Transparenz tragen zur Gewinnung vertragsrelevanter Informationen bei und demonstrieren den Willen und die Bereitschaft gegenüber den anderen Parteien. Diese Prozesse schaffen verschiedene Ebenen von und für Vertrauen, um die Ziele eines Rüstungskontrollabkommens zu erreichen. Abhängig von Intention und Gegenstand eines Vertrages hat Verifikation zwei Funktionen: sie trägt zur Vertrauensbildung zwischen den Vertragsparteien bei und ist ein Frühwarninstrument zur Überwachung der Vertragseinhaltung [Pil02, S. 80]. Verifikation ist auch ein Schlüsselfaktor für die Effektivität und Genauigkeit, mit der ein Regime eingehalten wird. Verifikation legt die Nachweisbarkeit signifikanter Vertragsverletzungen fest. Universelle Geltung in geographischer wie politischer Hinsicht ist wichtig. Adäquate Verifikation ist z.B. wichtig, weil sie dazu beiträgt, Raketenstarts von der Erde in den Weltraum zu identifizieren sowie das Verhalten von Weltraumobjekten über einen kurzen oder langen Zeitraum hinweg zu kontrollieren. Verifikation soll insbesondere dazu beitragen, zwischen zugelassenen zivilen Satelliten und geächteten Weltraumwaffen zu unterscheiden.

Die Verifikation von Weltraumabkommen

Wie die Geschichte der Rüstungskontrolle anhand der Entwicklung der Verifikation zeigt, ist die Effektivität eines Rüstungskontrollvertrags in hohem Maß von der Zuverlässigkeit der technischen Kapazitäten des Verifikationssystems abhängig. Heute existieren robuste Verifikationssysteme wie der KSE-Vertrag und der *Open Skies*-Vertrag (Vertrag „Offener Himmel“), aber auch Übereinkommen ohne jedwede Regelung von Verifikation wie der OST und die Biowaffen-Konvention. All diese Übereinkommen sind in ihrer Reichweite unterschiedlich und nutzen ggf. unterschiedliche Überprüfungsinstrumente wie Inspektionen durch Beobachter oder technische Hilfsmittel. Effektive Verifikationsmaßnahmen hängen immer vom Vertragsrahmen ab. Zu unterscheiden ist hier einmal der geografische Gültigkeitsbereich (z.B. Weltraum und/oder

Erde, bestimmte Umlaufbahnen etc.), der Verifikationsgegenstand (Trägersysteme, bestimmte Satelliten), die zu verifizierenden Waffenprinzipien oder Satelliten, oder die Prozessphasen im Lebenszyklus eines Systems (Entwicklung, Test, Produktion, Stationierung, Nutzung, Demontage). Bei einem Vertrag über Weltraumwaffen ist anzustreben, dass alle Waffen im Weltraum geächtet werden, denn die Einhaltung eines „Null-Waffen-Vertrags“ ist leichter zu überprüfen, als ein Vertrag, der zwischen unterschiedlichen Mengen und Arten von Waffen differenziert. Ein weiterer bedeutender Punkt liegt in der Frage, ob Verifikationsdaten für alle Mitglieder eines zukünftigen multilateralen Weltraumwaffen-Regimes verfügbar sein werden, oder ob eine Agentur zur Überprüfung der Vertragseinhaltung gegründet werden soll. Eine dritte Option liegt in der Verwendung von/dem Rückgriff auf NTMs einzelner Vertragsparteien oder bestimmter Staaten, z.B. Fernerkundungssatelliten oder Radars und Netzwerke der Weltraumbeobachtung. Heute verfügen nur die großen Weltraummächte über bodengestützte Kapazitäten zur Weltraumüberwachung des „Verkehrs im Weltraum“ (z.B. zur Vermeidung von Kollisionen), siehe [CCE⁺05, S. 16-19]. Optische Kapazitäten (wie die US-amerikanischen Systeme DEEPSTAR und GEODSS) sind kostengünstig, aber in hohem Maß wetterabhängig. Netze von Bodenradars zur Überwachung von Weltraumaktivitäten (*Space Surveillance Network (SSN)*, *Nave Space Fence* oder das HAYSTACK-Radar) werden von den USA genutzt. Zivile Kapazitäten werden hauptsächlich zur Koordinierung des Satellitenverkehrs und dem Monitoring von Weltraumtrümmern eingesetzt, um Kollisionen zu vermeiden. Zudem ist das Militär an einer schnellen Erkennung von Raketenstarts sowie der Identifizierung und Charakterisierung/ der mit dem Start verbundenen Mission interessiert. Frühwarn- und SIGINT-Satelliten zur Aufklärung von Telemetrie- und Kommunikationsdaten sind dabei ein Mittel der Fernerkundung. Neben der langfristigen Überwachung von der Erdoberfläche aus, besteht auch die Möglichkeit, Startaktivitäten und Tests im Freien vom Weltraum aus zu überwachen. Routine- oder Verdachtsinspektionen am Ort der Endmontage, der Stationierung oder des Startplatzes - ein Instrument, das bereits während der INF- und KSE-Vertragsverhandlungen ausgearbeitet wurde - könnten die Mittel der Verifikation eines Weltraumregimes in der Phase vor einem Start vervollständigen. Kommerziell verfügbare Satellitenbilder (wie z.B. die der Satelliten SPOT-5, Ikonos, Quickbird oder der zukünftigen WorldView-I/-II) können genutzt werden, um Vorbereitungen an festen Startplätzen und Testarealen zu erkennen. Der kanadische PAXSAT-Satellit war der Versuch, ein spezielles Monitoring-Werkzeug für Verifikationszwecke im Weltraum zu entwerfen. Zusätzliche Sensoren für Radiofrequenzen und Infrarot an Bord können über die Funktion kontrollierter Satelliten aufklären. Ein anderer Weg, Satelliten zu identifizieren, ist das Mitführen von „Annäherungssensoren“ an Bord operativer Satelliten. Diese könnten die Bodenstationen informieren oder alarmieren, falls sich ein anderes Objekt (z.B. Satellit) auf eine zu geringe Entfernung zum Satelliten annähert. All dies zeigt, dass Monitoring-Technologien im vergangenen Jahrzehnt eine bemerkenswerte Entwicklung durchgemacht haben.¹⁴⁹ Ihr Einsatz muss jedoch auf spezifische Vertragsanforderungen und -vereinbarungen zugeschnitten werden.

Eine einseitige technologische Antwort – Die Härtung von Weltraumsystemen

Eine unilaterale, aber kostspielige Antwort auf das Problem des Weltraumschrotts oder direkter Bedrohungen von Satelliten liegt in der Verbesserung des Schutzes von Satelliten. „Passive Gegenmaßnahmen“ wären u.a.

- die Härtung von Satelliten gegen Hitze, Stöße, Strahlung und Störung;
- der Schutz von Satelliten durch Manövrieren, Verstecken, Täuschen;

¹⁴⁹International ist hier schon erhebliche Vorarbeit geleistet worden, siehe z.B. [CGA92].

- der Aufbau redundanter Systeme und von Reparaturkapazitäten (*Launch on demand*);
- die Stationierung von Satelliten in weniger gefährdeten Orbits oder
- das Ersetzen zerstörter Satelliten

Solche Maßnahmen sind sicher technisch realisierbar, erhöhen jedoch die Startkosten, da das Nutzlastgewicht infolge stärkerer Schutzhüllen oder zusätzlichen Treibstoffs für Ausweichmanöver, zunimmt. Angesichts verstärkter Konkurrenz bei Satellitenstartkapazitäten, sind die Startkosten in der Vergangenheit gesunken. Im Jahr 2000 lagen sie für den Transport von einem Kilogramm Nutzlast bei US\$ 5000 für LEO und für GEO bei US\$ 26000. Kostenschätzungen ergeben, dass Maßnahmen zur Strahlenhärtung die Satellitenkosten zwischen zwei bis 10 % erhöhen könnten, vgl. [CCE⁺05, S. 111-115]. Eine weitere Möglichkeit wäre die Einbeziehung „aktiver Gegenmaßnahmen“, z.B. die Stationierung neuer ASATs (defensive Satelliten, Bodyguard-Satelliten) oder die Integration aktiver Verteidigungssysteme in Satelliten. Interzeptoren wäre wieder verwundbar gegenüber Attrappen und anderen Gegenmaßnahmen. Diese Maßnahmen würden aber ein Wettrüsten im All befördern, wenn sich viele Raumfahrt treibenden Nationen unter Druck gesetzt fühlen, orbitale Waffen einzuführen, um ihre eigenen Weltrauminfrastrukturen zu schützen. Letztlich sind Verträge über ein Verbot von Tests und Anwendung von ASATs effektiver, als hohe Investitionen in Gegenmaßnahmen zu tätigen, die möglicherweise nicht effektiv funktionieren.

5.3.4 Nächste Schritte zur Ächtung von Weltraumwaffen

Vorhandene oder künftige Regulierungsmöglichkeiten im Bereich „Rüstungskontrolle im Welt- raum“ könnten international wieder Zuspruch erhalten, wenn ein Diskussionsprozess über ein künftiges Rüstungskontrollregime für den Weltraum auf die internationale Tagesordnung gesetzt würde. Dazu bedarf es allerdings eines Anstoßgebenden Momentes. Eine Gruppe von interessierten Staaten (z.B. Deutschland, Frankreich, Kanada, Brasilien, Japan etc.) könnte eine Resolution in die UN einbringen, die einen internationalen Verhandlungsprozess in Gang bringt – ähnlich dem Ottawa-Prozess, der ein weltweites Verbot von Landminen ermöglichte. Eine solche Resolution könnte u.a. folgende Punkte enthalten:

- Eine Verpflichtung der Unterzeichner, sich an vorhandene Weltraumverträge zu halten;
- eine Erklärung, dass Satelliten und Raumschiffe anderer Staaten, die für „friedliche Zwecke“ bestimmt sind, nicht angegriffen werden dürfen;
- eine Verpflichtung aller raumfahrttreibenden Staaten, dass konkrete Maßnahmen unternommen werden, um Weltraumtrümmer zu minimieren;
- Die Schaffung einer *Open Ended Working Group* im Rahmen der Vereinten Nationen, um Verhandlungen für ein umfassendes Rüstungskontrolle-Regimes vorzubereiten;
- die Erarbeitung einer Erklärung zur Schaffung von Verfahrensregeln und Standards bezüglich einer verstärkten „Sicherheit im Weltraum“ sowie
- die Schaffung einer internationalen Weltraumagentur zur Überprüfung der Verfahrensregelung, Schaffung internationaler Überwachungskapazitäten und der technologischen Unterstützung von Ländern, die über keine eigene Trägerkapazitäten und Satelliten verfügen.

Ein Gutachten des *International Court of Justice* zur Legitimität einer einseitig vorgenommenen Einführung von Weltraumwaffen vor dem Hintergrund der Bestimmungen des OST könnte zu Rechtsklarheit führen und eine internationale Diskussion einleiten. Die UNO selbst könnte zur Begleitung des Prozesses wiederum eine *Group of Experts* einsetzen, die z.B. ein Zusatzprotokoll zum OST vorbereiten oder ausarbeiten könnten.¹⁵⁰

Im Jahre 2007 jährt sich die Unterzeichnung des OST zum vierzigsten Male. Zu diesem Zweck könnte eine internationale Konferenz unter der Schirmherrschaft der Vereinten Nationen einberufen werden, um die Einzelheiten für die Erweiterung der existierenden Weltraumkontrollabkommen zu erörtern und weitreichende Maßnahmen für die nächsten Dekaden zu beschließen. Ein *Code of Conduct* für alle raumfahrtbetreibenden Nationen könnte ausgearbeitet werden, der die Grundlage für ein künftiges Weltraumrüstungskontrollregime bildet. Auch könnten die Pfeiler für ein künftiges Regime zum Verbot von Weltraumwaffen erarbeitet, diskutiert und beschlossen werden.

Auch die Europäische Union, die aufgrund ihrer ambitionierten Weltraumpläne und Kooperationen mit den USA, Russland und China, Brasilien etc. ein wichtiger Akteur im Weltraumbereich geworden ist, sollte auf dem Sektor künftiger „Sicherheit im Weltraum“ die Initiative nicht anderen Staaten überlassen. Die EU sollte auf dem Feld der Rüstungskontrolle im Weltraum eigenständig tätig werden. Sie investiert verstärkt, sowohl wirtschaftlich wie sicherheitspolitisch, in ihr Weltraumprogramm und kooperiert mit Russland, China und Indien auf dem Sektor der Trägertechnologien, bei Galileo und wissenschaftlichen Weltraumprojekten. Aufgabe ihrer Sicherheits- und Friedenspolitik muss es sein, dafür Sorge zu tragen, dass ein mögliches zukünftiges europäisches militärisches Weltraumprogramm die Weltraumbewaffnung ausschließt und dass andere Weltraumnationen zur Waffenfreiheit im Weltraum beitragen. Das gleiche Interesse sollten die Raumfahrt betreibenden Nationen Russland, China, Indien, Japan und Brasilien zeigen. Die EU-Kommission sollte mit diesen Staaten Kontakt aufnehmen und eine gemeinsame Erklärung zum Verzicht der Stationierung von Weltraumwaffen unterzeichnen. Gleichzeitig könnten erste gemeinsame Schritte zur Vertrauensbildung im Weltraum angeregt und Verhandlungen für ein nachhaltiges Waffenverbotsregime eingeleitet werden. Nachvollziehbare, transparenzbildende Schritte dieser Nationen würden die US-Administration isolieren und möglicherweise zu einer Aufgabe der Blockade bei der Genfer Abrüstungskonferenz zwingen. Die Bundesregierung macht sich in ihrer Stellungnahme zum *White Paper* für die Begrenzung militärischer Weltraumkapazitäten stark und plädiert für eine aktive Rolle Europas in der globalen Rüstungskontrolle. Sie sollte dieses Plädoyer engagiert in den europäischen sicherheitspolitischen Diskurs einbringen und eine Vorreiterrolle gegen die Bewaffnung des Weltraums übernehmen. Ein künftiger Bundesforschungsminister, derzeit der Vorsitzende des ESA-Rats, sollte es zum Anliegen Deutschlands machen, die Idee einer gemeinsamen Erklärung von Russland, China, Indien, Japan und Brasilien im Rahmen der EU weiter zu verfolgen. Der künftige Außenminister sollte zusammen mit europäischen Kollegen eine Initiative zum Erhalt der Waffenfreiheit des Weltraums vorbereiten.

¹⁵⁰Kanada hat am 5. Februar 2001 die Einberufung einer Überprüfungskonferenz zum OST vorgeschlagen, um ein Ergänzungsprotokoll zu dem Vertrag zu erarbeiten, der eine Stationierung von Weltraumwaffen verbietet. Canada: „Proposal concerning CD Action on Outer Space“ (cd/1569 vom 4. Februar 1999) und “Working Paper: The Non-Weaponization of Outer Space (revised 5. Februar 2001).

6 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Nutzung des Weltraums ist seit dem Start des Sputnik im Oktober 1957 zusehends intensiviert worden. War diese zu Anfang nur den beiden damaligen Supermächte USA und UdSSR möglich, so engagieren sich heutzutage weitere Nationen bzw. Akteure in der Raumfahrt. Dem Weltraum kommt dabei heute sowohl eine militärische als auch eine kommerzielle Bedeutung zu. Satelliten wurden und werden militärisch vor allem von den USA und Russland z.B. zu Aufklärungs- und Frühwarnzwecken, Kommunikation oder Wettervorhersage eingesetzt und von den USA insbesondere seit Anfang der 90er Jahre verstärkt zur Missionsplanung bis hin zur Zielführung von Munition (*precision-guided ammunition*) mittels des globalen Navigationssystems GPS. Auch Europa, China und Japan nutzen den Weltraum zu militärischen Zwecken, besitzen im Vergleich zu den USA oder Russland aber deutlich geringere Kapazitäten. Ende 2001 sollen die USA über etwa 150 operative Militärsatelliten verfügt haben, gefolgt von Russland mit etwa 40 und dem Rest der Welt mit etwa 20 Satelliten.

In der Vergangenheit gab es sowohl in der UdSSR als auch in den USA Pläne und Programmwürfe mit Blick auf eine Bewaffnung des Weltraums, ebenso wurden gegen Satelliten wirksame Waffen entwickelt und getestet. Bei den getesteten Weltraumwaffen handelte es sich um bodengestützte Systeme, welche Mitte der 80er Jahre eingestellt wurden. Der Weltraum gilt bis heute als waffenfrei.

Die zivile/kommerzielle Nutzung des Weltraums ist vor allem seit den 80er Jahren stark vorangeschritten. Lagen erste Anwendungsfelder zunächst noch in den Bereichen Wetter, Telekommunikation (z.B. Fernsehen) oder Wissenschaft (Astronomie oder Erdfernerkundung), so hat sich der Markt über den Boom der 90er Jahre in den Bereichen Telekommunikation und Navigation hin zu geschätzten weltweiten Erlösen von gut € 100 Mrd. im Jahr 2003 entwickelt. Auch im kommerziellen Sektor sind die USA der größte Akteur. Europa hat sich in diesem Bereich zum zweitgrößten Raumfahrtakteur entwickelt und engagiert sich in Teilbereichen sogar stärker als die USA. Europa folgen Japan und Russland; China und Indien sind aufstrebende Nationen im Bereich der Raumfahrt, haben aber noch nicht zu den stärksten Akteuren aufgeschlossen.

Die Bedeutung des Weltraums als kommerzielle und militärische Ressource ist von vielen Nationen klar erkannt worden. US-amerikanische, aber auch Dokumente der EU oder anderer Akteure/Nationen tragen dem Weltraum in Strategiepapieren Rechnung und betonen dessen Bedeutung sowie einen gewünschten Ausbau der Weltrauminfrastruktur. Nicht zuletzt aufgrund der weltweiten Vormachtstellung der USA finden sich vor allem in amerikanischen Visions- und Strategiepapieren weitgehende Planungen und Visionen. Dies geht im Falle konservativer oder gar enthusiastischer amerikanischer Sichtweisen über Äußerungen einer potenziellen Gefährdung und des notwendigen Schutzes der Weltrauminfrastruktur bis hin zur in einigen Jahrzehnten gewünschten militärischen Gewaltanwendung aus dem Weltraum. Obwohl bisher noch keine unmittelbaren Schritte hinsichtlich einer Bewaffnung des Weltraums in den USA vorgenommen worden sind, gibt es dennoch zahlreiche eingeleitete Einzelmaßnahmen, die eine solche Richtung andeuten. Viele technologische Entwicklungen sind *dual use*-Technologien und können prinzipiell auch im Weltraum Anwendung finden oder eignen sich dazu, gegen Objekte im Weltraum eingesetzt zu werden. Dazu gehört z.B. das von der US-Administration beschlossene Raketenabwehrprogramm, dessen Abwehrraketen prinzipiell auch Teile des Weltraums errei-

chen können. Das zur Abwehr anfliegender Raketen genutzte Abfangprinzip stützt sich auf die *hit-to-kill*-Technologie, welche bereits in den Plänen und Vorstellungen der in den 80er Jahren eingestellten *Strategic Defence Initiative* (SDI) existierte. Aus der *hit-to-kill*-Technologie resultierende Entwicklungen lassen sich auch für einen Einsatz gegen z.B. Satelliten nutzen.

In US-amerikanischen Strategiedokumenten werden im Kontext möglicher Bedrohungen für Satellitensysteme auch „besorgniserregende Staaten“ oder substaatliche Akteure genannt. Dabei wird auch die Möglichkeit eines direkten Angriffs auf Satelliten nicht ausgeschlossen. Nicht näher ausgeführt wird, ob ein solcher Angriff durch einen solchen potenziellen Gegner überhaupt hinreichend motiviert ist, oder ob ein solcher Akteur zu einem Angriff auf einen Satelliten überhaupt technisch fähig ist. Bei von den USA propagierten potenziellen Gegner ist i.d.R. davon auszugehen, dass diese im Vergleich zu den USA oder anderen Raumfahrt treibenden Nationen über weniger technisch fortentwickelte Mittel verfügen. Der Frage nach der möglichen Realisierbarkeit eines möglichen Angriffs auf Satelliten wurde mit Hilfe von Modellrechnungen nachgegangen. Ausgegangen wurde in dem Szenario von einem Akteur, der im Besitz von Kurz- oder Mittelstraketen ist und mit diesen eine Sprengladung in den Weltraum transportieren kann. Die Fragestellung zielte dabei auf eine mögliche Realisierbarkeit eines Angriffs durch das gezielte Ausbringen von kleinen Trümmerteilen (Metallkugeln) in die Bahn eines Satelliten, um einen solchen durch Kollision zu schädigen oder zu zerstören („Schrottwolken-Szenario“).

Hierzu wurde zunächst ein (Teil-)Modell zur Beschreibung von Raketenbahnen unter Berücksichtigung von Gravitation, Raketenschub und Erdatmosphäre entwickelt („Raketenmodell“) und mit diesem Simulationsrechnungen zu den erreichbaren Höhen von Kurz- und Mittelstreckenraketen bei verschiedenen Nutzlasten und Startwinkeln durchgeführt. Dieses wurde durch ein weiteres (Teil-)Modell zur Simulierung einer von der Rakete zu tragenden Nutzlast ergänzt („Nutzlastmodell“), welches einen von kleinen Metallkugeln umhüllten konventionellen Sprengstoff beschreibt. Rechnungen zur Verteilung und Ausbreitung (Richtung und Geschwindigkeit) von Metallkugeln wurden unter Variation der die Nutzlast beschreibenden Parameter a) Gesamtmasse der Nutzlast, b) Anteil der Sprengstoffmasse an der Gesamtmasse der Nutzlast, c) Radius der Metallkugeln, d) Dichte der Metallkugeln und e) einem angenommenen Geschwindigkeitsparameter durchgeführt (insgesamt 180 Parameterkombinationen). Das längerfristige Zeitverhalten der freigesetzten Metallkugeln wurde ebenfalls unter Verwendung des Raketenmodells abgeschätzt.

Die Modellrechnungen ergeben für zweistufige Raketentypen (Mittelstreckenraketen) erreichbare Höhen bis zu etwa 4000 km und erreichbare Geschwindigkeiten bis zu etwa 7km/s, abhängig von Startwinkel und Nutzlast. Der Betrag der Geschwindigkeit liegt bei den maximal zu erreichenden Höhen bei den angenommenen Startwinkeln im Bereich zwischen 0km/s bis ca. 4km/s, die Maximalhöhen bewegen sich dabei im Bereich um 1500km bis 3500km. Die größtmöglichen Geschwindigkeitsbeträge ($|\vec{v}|$) von etwa 6km/s bis 7km/s werden häufig bei Brennschluss der Rakete und in deutlich niedrigeren Höhen zwischen 200km und 400km erreicht. Die erreichbaren Höhen des einstufigen Raketentyps (Kurzstreckenrakete) fallen im Vergleich zum zweistufigen Typ geringer aus. Bei senkrechtem Raketenanstieg und einer Nutzlast von 700kg ist eine Höhe bis etwa 900km erreichbar, etwa ein Viertel der Höhe des zweistufigen Typs.

Durch den Vergleich mit der Verteilung der vorhandenen Weltrauminfrastruktur zeigt sich, dass bereits gut die Hälfte der Satelliten außerhalb der Reichweite eines zweistufigen Raketentyps liegt (bei senkrechtem Raketenanstieg). Ohne weitergehende Modifikationen der Raketennutzlast (weitere Antriebsstufe) sind weder mittlere und erst recht nicht geosynchrone (Spezialfall: geostationäre) Umlaufbahnen erreichbar. Außerhalb der Reichweite liegen beispielsweise die zum Navigationssystem GPS gehörenden Satelliten. Das GPS-Satellitensystem birgt durch die prinzipbedingte Vielzahl an Satelliten zudem eine gewisse Redundanz, so dass mehr als ein

Satellit zum Unterbinden der Funktionsfähigkeit von GPS geschädigt werden müsste. Der Anteil an Satelliten in Reichweite von Raketentypen mittlerer (und ebenso kurzer) Reichweite verringert sich noch weiter, wenn man den (geographischen) Startpunkt der Rakete und die tatsächliche Bahn des Satelliten berücksichtigt. Die Bodenspur eines Satelliten auf dem Erdboden variiert insbesondere für Satelliten auf niedrigen Umlaufbahnen, entsprechend auch die Entfernung zu einem angenommenen (festen) Raketenstartpunkt. Ein Satellit kann sich dadurch auch zeitweise innerhalb bzw. außerhalb der Reichweite einer Rakete befinden.

Aus Untersuchungen von Studien zu Weltraumtrümmern und daraus abgeleiteten Schutzmaßnahmen wurden Teilchengrößen für das das Raketenmodell erweiternde Nutzlastmodell abgeleitet. Als untere Teilchengröße wurde ein Teilchenradius von 3mm identifiziert, bei welchem davon auszugehen ist, dass solche Teilchen zumindest zu einer möglichen Beschädigung von Weltraumplattformen führen können. Weltraumtrümmer mit Radien von etwa 1cm führen bereits zu signifikanten Schäden oder gar zum Missionsausfall. Den Studien konnte auch ein Massenverhältnis zwischen Projektil und Ziel entnommen werden, welches zu mehreren Trümmerteilen führt, die vergleichbar mit der ursprünglichen Projektilmasse sind. Im Hinblick auf einen zu befürchtenden Kaskadeneffekt wurde eine solche Masse zur Bestimmung einer oberen Projektilgröße in den Simulationsrechnungen verwendet. Entsprechend den gewählten Teilchengrößen resultieren abhängig von der Gesamtmasse der Nutzlast (Massen von 700kg bis 3500kg) und dem Massenanteil des verwendeten Sprengstoffs Teilchenzahlen (Anzahl von Metallkugeln) in der angenommenen Nutzlast zwischen 10^2 bis 10^7 Teilchen, welche prinzipiell in die (Nähe der) Bahn eines Satelliten gebracht werden können. Die Teilchen verteilen sich dabei auf eine Anzahl von Kugelschalen zwischen lediglich ein bis zwei (700kg Nutzlast mit einem 50%igen Massenanteil an Sprengstoff, Metallkugeldurchmesser im cm-Bereich) bis um 100 Kugelschalen (bei max. Nutzlast bei geringem Massenanteil an Sprengstoff). Durch den in der Nutzlast angenommenen Sprengstoff wurde die Ausbreitung der Wolke simuliert. Für die Metallkugeln resultieren Ausbreitungsgeschwindigkeiten (relativ zum Mittelpunkt der Nutzlast) in der Größenordnung zwischen 10^0 m/s und 10^3 m/s, abhängig von den gegebenen Randbedingungen. Vielfach ergeben sich Geschwindigkeiten einzelner Kugeln im Bereich einiger hundert Meter pro Sekunde.

Der relative Winkelabstand zwischen einzelnen, bei der Explosion auseinanderstrebenden Kugeln der Nutzlast, und dadurch die Dichte der Projektile bei Ausdehnung der Trümmerwolke, variiert mit dem Durchmesser der Metallkugeln und der Masse des Sprengstoffs in der Nutzlast. Die Metallkugeln der innersten Kugelschicht einer Nutzlast weisen den größten Winkelabstand auf, dieser verringert sich i.d.R. in jeder an diese anschließende Kugelschale. Es resultieren Zenitwinkelabstände zwischen benachbarten Kugeln innerhalb einer Kugelschale der Nutzlast zwischen etwa 1 Grad und 19 Grad (innere Kugelschale) und 0,4 Grad bis 9,5 Grad (hin zu den äußeren Kugelschalen). Bei einer angenommenen notwendigen Ausdehnung der Trümmerwolke von 2000m ergeben sich Abstände zwischen benachbarten Schalen von typischerweise 30m bis 300m, in Extremfällen treten auch Abstände von nicht ganz 10m bzw. um die 1000m auf. Die Abstände zwischen den Kugeln innerhalb einer Schale variieren dabei von wenigen zehn Metern bis hin zu wenigen hundert Metern. In Extremfällen wie großen Sprengstoffmassen und kleinen Metallkugelradien oder kleinen Massen an Sprengstoff und großen Metallkugelradien finden sich auch Abstände zwischen den Kugeln der innersten Kugelschale zwischen 6m bis 12m bzw. bis hinauf zu 450m.

Für die modellierten Nutzlasten wurden die Kollisionswahrscheinlichkeiten für Satelliten einer Querschnittsfläche von 10m^2 bzw. 100m^2 bei direktem Durchflug einer Trümmerwolke von 2km Radius bestimmt. Bei einer Nutzlastmasse 700kg mit 70kg Sprengstoffanteil ergeben sich Kollisionswahrscheinlichkeiten zwischen 0,003 bis hinauf zu 1 (d.h. der Satellit kollidiert mit mindestens einer Kugel der ausgebrachten Trümmerwolke), abhängig vom Metallkugelradius

und der Querschnittsfläche des Satelliten. Im angenommenen Extremfall einer Nutzlastmasse von 3500kg bei 10kg Anteil an Sprengstoff ergeben sich Kollisionswahrscheinlichkeiten zwischen 0,991 und 1.

Die Ergebnisse können dahingehend interpretiert werden, dass aus Sicht eines potenziellen Aggressors das Gelingen eines solchen Vorhabens vom verfolgten Ziel abhängig ist. Strebt dieser die „sichere“ Zerstörung eines einzelnen Zielsatelliten im niedrigen Erdorbit an, so wird er eine Kollision eines größeren Trümmerteils mit dem eigentlichen Satellitenkörper (und somit kleine Zielfläche im Vergleich zu gesamten Satellitenfläche einschließlich z.B. Sonnenpanele) anstreben müssen. Die zu erwartende Teilchendichte im Raum ist dabei allerdings so niedrig, dass selbst bei 700kg angestrebter Nutzlast wenig Aussicht auf Erfolg besteht (Kollisionsbereich im Promille-Bereich). Ein Erhöhen der Nutzlastmasse kann die Kollisionswahrscheinlichkeit zwar steigern, setzt allerdings zugleich das Vorhandensein bzw. den Zugriff auf stärkere Trägerkapazitäten voraus. Zudem wird die von der Rakete erreichbare Höhe bei Erhöhung der Nutzlastmasse verringert, wodurch ein zu erreichender Zielsatellit außer Reichweite (ggf. partiell) gelangen kann. Auch die Verwendung kleinerer Metallkugeln erhöht die Kollisionswahrscheinlichkeit eines Satelliten mit der ausgebrachten Trümmerwolke, vermindert aber gleichzeitig die mögliche Wirkung auf das Ziel (z.B. ein Durchdringen von Schilden). Sicherlich werden selbst kleinere Teilchen Schäden hervorrufen können, fraglich bleibt allerdings die nötige Anzahl von Kollisionen mit z.B. Solarpanelen, die einen möglichen Ausfall eines Satelliten zur Folge haben. Nicht unerheblichen Einfluss auf die Kollisionswahrscheinlichkeit hat die tatsächliche relative Position der Trümmerwolke zum Ziel. So verringern Unsicherheiten in der Bestimmung von Satellitenbahnhöhe oder der beginnenden Wolkenexpansion (z.B. Zündzeitpunkt) die Kollisionswahrscheinlichkeit weiter. In einem aus Sicht des Aggressors ungünstigen Fall könnte der anvisierte Zielsatellit die Wolke sogar unbeschadet passieren, wenn z.B. die Expansion der Trümmerwolke mit Blick auf die tatsächliche Unsicherheit in der Positionsbestimmung zu spät eingeleitet wurde. In einem solchen Fall bestünde nach den in dieser Arbeit simulierten Fällen nicht die Möglichkeit der Kollision des Zielsatelliten mit den bereits ausgebrachten Trümmern während eines zweiten Bahnumlaufs: die resultierenden Geschwindigkeiten der Trümmer reichen nicht aus, um diese auf einer Umlaufbahn zu halten, wodurch diese bei der Wiederkehr des Satelliten bereits auf die Erde zurückgefallen sind. Insgesamt kann gefolgert werden, dass ein Land mit begrenzten technologischen Möglichkeiten, nicht sicher sein kann, mit einem Schrottwolkenszenario gegnerische Satelliten auszuschalten. Nur führende, Raumfahrt betreibende Staaten wie die USA, Russland und die EU hätten die Möglichkeit dazu. China und Indien könnten diese Fähigkeit in 5-10 Jahren erlangen.

Das existierende Weltraumrecht bietet nur wenig Beschränkungen im Hinblick auf eine mögliche Stationierung von Waffen im Weltraum. Die existierenden Verträge, Übereinkommen und Regelungen setzen zwar eine hohe Norm im Bezug auf die Nutzung des Weltraums, bieten allerdings nur eine unzureichende Barriere im Hinblick auf eine mögliche Bewaffnung des Weltraums. Auch in Bezug auf die Nutzung der „Ressource Weltraum“ im Allgemeinen weist das internationale Weltraumrecht erhebliche Lücken auf. Auch unter Berücksichtigung weiterer, nicht speziell für den Weltraum gedachter, rüstungskontrollpolitischer Maßnahmen und Abkommen werden keine engen Grenzen bezüglich Weltraumwaffen etabliert. Zudem hat die Aufkündigung des bilateralen ABM-Vertrages zum Juli 2002 seitens der USA ein wirksames Instrument zur Einschränkung der Entwicklung/des Testen von Weltraumwaffen obsolet gemacht. Unter den derzeitigen Regelungen zumindest erlaubt sind ASAT-Waffen, ausgenommen Massenvernichtungswaffen; die Stationierung und Nutzung von konventionellen Waffen im Weltraum; der Durchflug von Raketen durch den Weltraum; Satelliten zur Aufklärung, Kommunikation, Navigation etc. für militärische Zwecke sowie der Einsatz militärischen Personals für wissen-

schaftliche Untersuchungen oder andere friedliche Zwecke.

Gegenüber den neuen Realitäten sowie den technologischen und kommerziellen Entwicklungen ist das Weltraumrecht veraltet. Inwieweit dies zu einer Bewaffnung oder gar einem Wettrüsten im Weltraum führt, ist schwer vorhersehbar. Es steht allerdings zu befürchten, dass durch die Einführung von Weltraumwaffen das derzeitige „quasi-anarchistische Nebeneinander“ der zivilen und militärischen Infrastrukturen im Weltraum beendet werden könnte, da Staaten durch neue Fakten auch neue Regeln schaffen könnten. Eine Neubestimmung im Umgang mit dem Weltraum ist dringend geboten, wobei der Blick sich nicht allein auf eine Verhinderung einer Bewaffnung des Weltraums beschränken sollte.

Mögliche Regulierungsansätze können dabei sein [PCG03]: Ein Ansatz (präventiver) Rüstungskontrolle; Verbotstatbestände für Weltraumwaffen und Vertrauens- und sicherheitsbildende Maßnahmen.

Gründe, die für präventive Rüstungskontrolle im Weltraum sprechen, sind die begrenzte Zahl der Akteure, in diesem Falle die Raumfahrt treibenden Nationen, die komplexen und teuren Technologien für Waffenzwecke sowie die guten Überwachungschancen im Weltraum. Der Weltraum ist ein transparentes Medium, in dem sich eine begrenzte Zahl von künstlichen Himmelskörpern auf vorausberechenbaren Bahnen bewegen. Im Sinne präventiver Rüstungskontrolle ist es durchaus möglich, Satellitenbahnen und Manöver international transparent zu überwachen. Die technischen Mittel dazu liegen jedoch heute bei den führenden Weltraummächten. Noch ist die Einführung von Weltraumwaffen ein Tabu. Die veränderten politischen und technologischen Rahmenbedingungen drohen jedoch an diesem Tabu zu rütteln. Für die Verhinderung einer Weltraumbewaffnung dürfte entscheidend sein, die Argumente der Befürworter in der US-Administration zu widerlegen und dauerhafte und nachhaltige Regelungen für den Weltraum zu etablieren, an die sich möglichst viele Staaten halten.

Seit Jahrzehnten machen einzelne Staaten, Wissenschaftler und Nichtregierungsorganisationen immer wieder konkrete Vorschläge, um eine Weltraumrüstung zu verhindern. Die Vielfalt dieser Vorschläge zeigt zum einen, dass ein breites Spektrum von Maßnahmen und Beschränkungsoptionen in den vergangenen Dekaden erarbeitet und aktualisiert worden ist. Zum anderen zeigen sie die Dringlichkeit für eine adäquate Behandlung der Problematik einer Bewaffnung im Weltall auf.

Nächste Schritte zur Begrenzung bzw. dem Verbot militärischer Optionen im Weltraum sind der Erhalt des völkerrechtlichen Status-Quo; die Stärkung vorhandener internationaler und nationaler Regime; Multilaterale Anstrengungen zur Erweiterung internationaler Regelungen sowie die Initiierung und Anpassung einseitiger Erklärungen einzelner Staaten. [IAS05]

Vor dem in dieser Studie beschriebenen technologischen und sicherheitspolitischen Hintergrund ist davon auszugehen, dass die vorhandenen Regelungen nicht ausreichen, um den Status-Quo auf Dauer zu erhalten.

Eine Reformierung oder Neubestimmung der völkerrechtlichen Grundlagen verlangt die Verbesserung, Anpassung oder verstärkte Implementierung vorhandener Verträge, insbesondere des Weltraumvertrages. Eine vertragstechnisch einfache Lösung ist, den Artikel IV Weltraumvertrages durch eine Ausweitung auf jede Art von Weltraumwaffen zu ergänzen. Einer drohenden Aushöhlung des Artikel IV ist ggf. mit einem Zusatzprotokoll zu begegnen. Weitere Möglichkeiten bestehen in der „Wiederbelebung“ gültiger Abkommen. Der teilweise geringen Ratifikationsbereitschaft mancher Staaten könnte mit einer Initiative für die intensiviertere Ratifikation vorhandener Verträge und Abkommen begegnet werden. Die Wirkung vorhandener Abkommen könnte erhöht werden, wenn Staaten regelmäßiger, frühzeitiger und genauer Daten über geplante Raketenstarts sowie genaue Angaben der Nutzlast im Rahmen des Registrierungsabkommens mitteilen würden. Zum anderen könnte das Prinzip der „*Non-Interference with Natio-*

nal *Technical Means*“ multilateralisiert werden. Diese „Schutzklausel“ sollte auf alle zivilen und militärischen Weltraumobjekt erweitert werden. Schlussendlich könnten Staaten den Konsultationsmechanismus des Weltraumvertrages vermehrt nutzen, der bisher nicht benutzt wurde. So könnten wichtige Mitgliedsstaaten wie Russland, Kanada, Schweden, Deutschland diplomatische Initiativen ergreifen, wenn Staaten z.B. Anzeichen für einen bevorstehenden ASAT-Test haben. Dies setzt jedoch voraus, dass es öffentliche Informationen über solche einen Test gibt und dass der entsprechende politische Wille für internationale Aktivitäten vorhanden ist.

Eine längerfristige und dauerhafte Lösung dürfte wohl nur in der Errichtung eines umfassenden Verbots von Weltraumwaffen liegen, an dem sich international die wichtigen Raumfahrttreibenden Staaten beteiligen. Es existieren bereits einige Vorschläge für umfassende Verbotsregime von Weltraumwaffen, um den Weltraum auf der Grundlage eines multilateralen Abkommens waffenfrei zu halten. Im Wesentlichen gibt es drei aufeinander aufbauende Schritte, die zu einem umfassenden Verbot führen: Die Implementierung von Vertrauensbildende Maßnahmen im Weltraum; die Schaffung von Verhaltensverpflichtungen im Weltraum und der Beginn von Verhandlungen zu einer Errichtung eines Verbotsregimes. Diese Maßnahmen können aufeinander aufbauen. Sie implizieren unterschiedliche Grade an Effizienz, Reichweite und Verifikation.

Ein robustes und nachhaltiges Weltraumwaffen-Übereinkommen benötigt einen klaren Verbotstatbestand inkl. umfassender Definitionen der Verbotselemente, einen Durchsetzungsmechanismus sowie eine Hürde, die einen Rückzug aus dem Vertrag erschwert. Größte Herausforderungen stellen zum einen die vielen Möglichen Definitionen von Weltraumwaffe dar, zum anderen sollte die Frage nach einer Möglichen Verifikation nicht außer acht gelassen werden.

Notwendig dazu ist sicherlich eine Steigerung technischer Expertise und Diskussion sicherheitspolitischer Konsequenzen im nationalen und europäischen Kontext. Angesichts der Tragweite der Einführung von Weltraumwaffen bei ungeklärten technischen und juristischen Fragen im Bereich der Raumfahrt sollte die Expertise in Europa u.a. auf den Gebieten der Verletzbarkeit ziviler Satelliten, der Gefahr durch Weltraumschrott, der Auswirkung auf Defensive/Offensive und die Folgen für die Abschreckung weiter gesteigert werden. In diesem Zusammenhang ist eine (politische) Bewertung der von Raketenabwehrprogrammen ebenso notwendig wie die Erarbeitung rüstungskontrollpolitischer Vorschläge für eine Limitierung von Raketenabwehr und der Weiterverbreitung von Raketentechnologien.

Ein Gutachten des *International Court of Justice* zur Legitimität einer einseitig vorgenommenen Einführung von Weltraumwaffen vor dem Hintergrund der Bestimmungen des OST könnte zu Rechtsklarheit führen und eine internationale Diskussion einleiten. Die UNO selbst könnte zur Begleitung des Prozesses wiederum eine *Group of Experts* einsetzen, die z.B. ein Zusatzprotokoll zum OST vorbereiten oder ausarbeiten könnten.

Im Jahre 2007 jährt sich die Unterzeichnung des OST zum vierzigsten Male. Zu diesem Zweck könnte eine internationale Konferenz unter der Schirmherrschaft der Vereinten Nationen einberufen werden, um die Einzelheiten für die Erweiterung der existierenden Weltraumkontrollabkommen zu erörtern und weitreichende Maßnahmen für die nächsten Dekaden zu beschließen. Ein *Code of Conduct* für alle raumfahrtbetreibenden Nationen könnte ausgearbeitet werden, der die Grundlage für ein künftiges Weltraumrüstungskontrollregime bildet. Auch könnten die Pfeiler für ein künftiges Regime zum Verbot von Weltraumwaffen erarbeitet, diskutiert und beschlossen werden.

Auch die Europäische Union, die aufgrund ihrer ambitionierten Weltraumpläne und Kooperationen mit den USA, Russland und China, Brasilien etc. ein wichtiger Akteur im Weltraumbereich geworden ist, sollte auf dem Sektor künftiger „Sicherheit im Weltraum“ die Initiative nicht anderen Staaten überlassen. Die EU sollte auf dem Feld der Rüstungskontrolle im Weltraum eigenständig tätig werden. Sie investiert verstärkt, sowohl wirtschaftlich wie sicher-

heitspolitisch, in ihr Weltraumprogramm und kooperiert mit Russland, China und Indien auf dem Sektor der Trägertechnologien, bei Galileo und wissenschaftlichen Weltraumprojekten. Aufgabe ihrer Sicherheits- und Friedenspolitik muss es sein, dafür Sorge zu tragen, dass ein mögliches zukünftiges europäisches militärisches Weltraumprogramm die Weltraumbewaffnung ausschließt und dass andere Weltraumnationen zur Waffenfreiheit im Weltraum beitragen. Das gleiche Interesse sollten die Raumfahrt betreibenden Nationen Russland, China, Indien, Japan und Brasilien zeigen. Die EU-Kommission sollte mit diesen Staaten Kontakt aufnehmen und eine gemeinsame Erklärung zum Verzicht der Stationierung von Weltraumwaffen unterzeichnen. Gleichzeitig könnten erste gemeinsame Schritte zur Vertrauensbildung im Weltraum angeregt und Verhandlungen für ein nachhaltiges Waffenverbotsregime eingeleitet werden. Nachvollziehbare, transparenzbildende Schritte dieser Nationen würden die US-Administration isolieren und möglicherweise zu einer Aufgabe der Blockade bei der Genfer Abrüstungskonferenz zwingen. Die Bundesregierung macht sich in ihrer Stellungnahme zum *White Paper* für die Begrenzung militärischer Weltraumkapazitäten stark und plädiert für eine aktive Rolle Europas in der globalen Rüstungskontrolle. Sie sollte dieses Plädoyer engagiert in den europäischen sicherheitspolitischen Diskurs einbringen und eine Vorreiterrolle gegen die Bewaffnung des Weltraums übernehmen. Ein künftiger Bundesforschungsminister, derzeit der Vorsitzende des ESA-Rats, sollte es zum Anliegen Deutschlands machen, die Idee einer gemeinsamen Erklärung von Russland, China, Indien, Japan und Brasilien im Rahmen der EU weiter zu verfolgen. Der künftige Außenminister sollte zusammen mit europäischen Kollegen eine Initiative zum Erhalt der Waffenfreiheit des Weltraums vorbereiten.

A Anhang

A.1 Raketenabfang durch Splittergefechtssköpfe

Nach [Alt88] bilden die bei der Verwendung von splitternden Gefechtssköpfen (*conventional fragmentation warheads*) für den Abfang von Raketen oder Wiedereintrittskörpern entstehenden Schrapnells eine mehr oder weniger kugelförmige Oberfläche. Die anfängliche Geschwindigkeit der Schrapnells v_F lässt sich bestimmen nach:

$$v_F = c_G \sqrt{\frac{\frac{m_{Ex}}{m_M}}{1 + a \frac{m_{Ex}}{m_M}}}, \quad (\text{A.1})$$

mit der Sprengstoffmasse m_{Ex} , der Gesamtmasse von Schrapnells erzeugendem Metall m_M , der Gurney-Konstanten c_G und einem Formfaktor a . Die Gurney-Konstante variiert zwischen $c_G 2,3 \text{ km/s}$ und $c_G 3,1 \text{ km/s}$ für verschiedene Sprengstoffe, der Formfaktor beträgt $a = 0,5$ für einen langen Zylinder und $a = 0,6$ für eine Kugel [KG85], zitiert nach [Alt88, S. 75].

Für Kugeln und einer Gurney-Konstanten von $c_G = 3000 \text{ m/s}$ ergeben sich nach Gleichung A.1 die in Tabelle A.1 gezeigten anfänglichen Geschwindigkeiten.

Gesamtmasse [kg]	Masse Sprengstoff m_{Ex} [kg]	Masse Metall m_M [kg]	v_F [m/s]
700	10	690	359,60
700	50	650	813,49
700	100	600	1167,75
700	200	500	1703,89
700	350	350	2371,71
3500	10	3490	160,45
3500	50	3450	359,60
3500	100	3400	510,02
3500	200	3300	725,48
3500	350	3150	968,25

Tabelle A.1: Anfängliche Schrapnellgeschwindigkeiten v_F eines Gefechtsskopfes mit Splitterwirkung, berechnet nach Gleichung A.1. Es wurden kugelförmige Schrapnells und eine Gurney-Konstanten von $c_G = 3000 \text{ m/s}$ angenommen.

A.2 Abschätzung zur Bahngeschwindigkeit von Satelliten

Satelliten (oder andere Körper) in Umlaufbahnen bewegen sich nicht in beliebiger Weise und mit beliebigen Geschwindigkeiten auf ihrer Bahn, sondern ihre Bewegungen unterliegen physikalischen Gesetzen. Die Gesetzmäßigkeiten der Zentralbewegung von Körpern im Weltraum

wurden ursprünglich von Johannes Kepler gefunden. Er leitete aus Beobachtungen von Planetenbewegungen¹⁵¹ drei Gesetze der Planetenbewegung ab, ohne das zugrunde liegende Newtonsche Gravitationsgesetz (Gl. 4.4) zu kennen. Im einfachen Fall des Zweikörperproblems kann aus dem Kraftgesetz eine Bewegungsgleichung aufgestellt und integriert werden, woraus sich die drei Keplerschen Gesetze ergeben [WW89]:

1. Die Körper bewegen sich relativ zur Sonne in Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
2. Der von der Sonne zu einem umlaufenden Himmelskörper gezogene Radiusvektor überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.
3. Das Quadrat der Umlaufzeit wächst proportional zur dritten Potenz der großen Halbachse und umgekehrt proportional zur Massensumme:

$$U^2 = \frac{4\pi a^3}{\gamma(m_1 + m_2)} \quad , \quad (\text{A.2})$$

mit der Umlaufzeit U , der großen Bahnhalbachse a , der Gravitationskonstanten $\gamma \approx 6,67 \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ und den Massen von Sonne bzw. Himmelskörper m_1 bzw. m_2 .

Das erste Keplersche Gesetz beschreibt die Bahnform. Die Bahn kann genau genommen jede Form eines möglichen Kegelschnitts annehmen, d.h. auch die Form einer Parabel oder Hyperbel. Im Fall von gravitativ an einen Zentralkörper gebundenen Körpern, wie z.B. bei um die Erde umlaufenden Satelliten, beschränkt sich die Bahnform auf Ellipsen. Die Form einer Ellipse kann dabei durch die Angabe zweier Parameter beschrieben werden, beispielsweise durch die Angabe von großer und kleiner Bahnhalbachse oder durch die Angabe einer Bahnhalbachse und der Exzentrizität (siehe auch weiter unten).

Das zweite Keplersche Gesetz ist als sogenannter „Flächensatz“ bekannt und beschreibt die Geschwindigkeit eines umlaufenden Körpers in verschiedenen Bereichen seiner Bahn. Der Flächensatz ist Ausdruck der Konstanz des Bahndrehimpulses¹⁵² und ihm ist zu entnehmen, dass die Bahngeschwindigkeit beim Peripunkt (kleinster Radiusvektor) am größten und beim Apopunkt (größter Radiusvektor) am kleinsten ist¹⁵³.

Das dritte Keplersche Gesetz traf in seiner ursprünglichen Form die (vereinfachende) Aussage, dass das Quadrat der Umlaufzeit proportional zur dritten Potenz der großen Halbachse ist: $U^2 \propto a^3$. D.h. die Masse des umlaufenden Körpers wurde vernachlässigt. In unserem Sonnensystem ist die Sonnenmasse deutlich größer als die der Planeten, weshalb die Verwendung der Sonnenmasse anstelle der Massensumme in Gl. A.2 eine gute Näherung darstellt. Die Masse des umlaufenden Körpers kann auch insbesondere bei der Betrachtung des Systems Erde – Satellit vernachlässigt werden, da die Masse eines Satelliten (Größenordnung 10^3 kg) wesentlich kleiner als die Masse der Erde (Größenordnung 10^{24} kg) ist. Im Fall geringerer Massenunterschiede, beispielsweise bei Doppelsternsystemen oder dem System Erde – Mond, müssen allerdings die Massen beider Körper und der Umlauf beider Körper um den gemeinsamen Massenschwerpunkt berücksichtigt werden.

¹⁵¹Anhand von langjährigen Positionsmessungen des Planeten Mars, welche Tycho Brahe noch ohne Hilfe eines Fernrohrs durchgeführt hatte. [Mie74]

¹⁵²Siehe hierzu z.B. auch [WW89, s. 25–27], dort ist auch eine kurze Ableitung der Keplerschen Gesetze skizziert.

¹⁵³Die Bezeichnung der Peri- bzw. Apopunkte richtet sich nach dem griechischen Namen des Zentralkörpers, z.B. Perigäum (Erde), Perihel (Sonne) oder Periselenium (Mond) bzw. Apogäum, Aphel oder Aposelenium. [Mie74]

Für sich auf Kreisbahnen um einen Zentralkörper bewegende Satelliten kann die Bahngeschwindigkeit anhand der wirkenden Kräfte Gravitation \vec{F}_G und Zentrifugalkraft \vec{F}_Z abgeleitet werden. Wenn sich der Satellit auf einer Kreisbahn mit Radius r um den Mittelpunkt der Erde bewegt, müssen sich diese Kräfte im Gleichgewicht befinden:

$$|\vec{F}_G| = |\vec{F}_Z| \quad (\text{A.3})$$

$$\Leftrightarrow \gamma \frac{mM_{\text{Erde}}}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad , \quad (\text{A.4})$$

mit der Gravitationskonstanten γ , der Masse der Erde M_{Erde} , der Satellitenmasse m und dem (hier konstanten) Betrag der Bahngeschwindigkeit v . D.h. die Bahngeschwindigkeit v des Satelliten ist eine Funktion seines Abstandes vom Erdmittelpunkt:

$$\Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{\gamma M_{\text{Erde}}}{r}} \quad , \quad (\text{A.5})$$

ebenso seine Umlaufzeit U_{Kreis} :

$$U_{\text{Kreis}} = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi r^{2/3}}{\sqrt{\gamma M_{\text{Erde}}}} \quad (\text{A.6})$$

Abbildung A.1 zeigt die Bahngeschwindigkeit und die korrespondierende Umlaufzeit als Funktion der Bahnhöhe $h = r - r_E$, mit $r_E = \text{Erdradius}$ nochmals in graphischer Form. In der

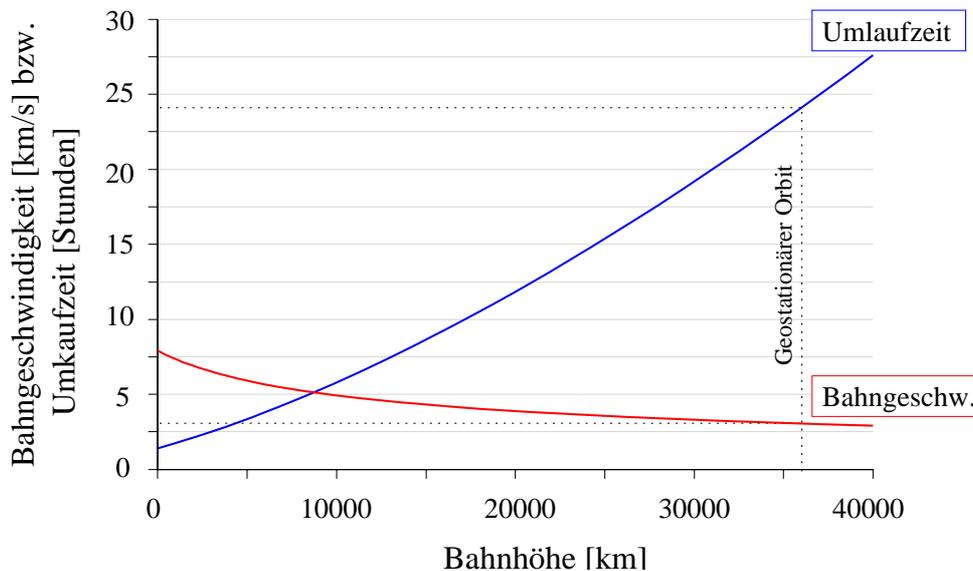


Abbildung A.1: Bahngeschwindigkeiten und Umlaufzeiten von Satelliten auf Kreisbahnen.

Abbildung ist zusätzlich noch der geostationäre Orbit kenntlich gemacht. Die Forderung einer relativ zur Erdoberfläche festen Satellitenposition bedingt eine der Erdrotation entsprechenden Umlaufgeschwindigkeit des Satelliten von ca. 24 Stunden (86164s). Diese hat ein Satellit, welcher sich auf einer Kreisbahn mit einem Radius von ca. 42150km bewegt (abzüglich des mittleren Erdradius von 6371km resultiert daraus die in der Regel bekanntere Bahnhöhe im Geostationären Orbit von knapp 36000km).

Zur vollständigen Beschreibung der Bahn eines Himmelskörpers reicht die Angabe alleine der Form der Ellipsenbahn nicht aus. Die vollständige Beschreibung der Umlaufbahn eines Himmelskörpers (wie auch für einen Satelliten oder Raumfahrzeug) nach Ausdehnung, Form, Lage

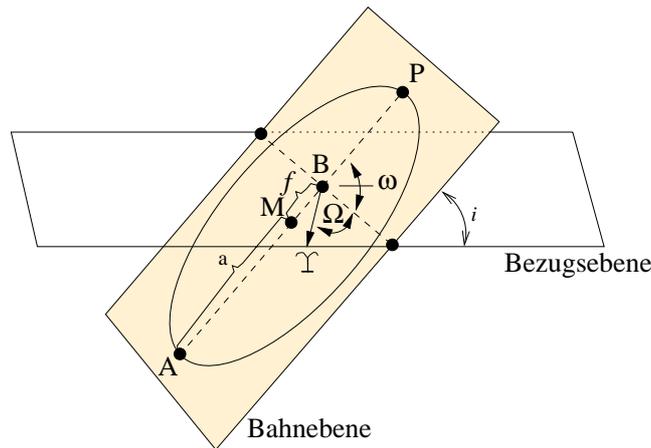


Abbildung A.2: Bahnelemente zur Beschreibung der Bahn eines Himmelskörpers oder Raumfahrzeugs. Die numerische Exzentrizität ϵ ist gegeben durch das Verhältnis des Abstandes f des Brennpunktes B vom Mittelpunkt M zur großen Bahnhalbachse a : $\epsilon = f/a$. Die Inklination i gibt den Winkel zwischen Bahnebene und Bezugsebene an. Die der Länge Ω des aufsteigenden Knotens (auch Knotenlänge) wird in der Bezugsebene als Winkel zwischen dem Frühlingspunkt Υ und dem aufsteigenden Bahnknoten gemessen. ω bezeichnet den Abstand des Peripunktes vom aufsteigenden Knoten, gemessen in der Bahnebene als Winkel zwischen den zum Peripunkt P und zum aufsteigenden Knoten zeigenden Richtungen. Darstellung und Bezeichnungen nach [Mie74, S. 64] (leicht modifiziert).

im Raum sowie den Ort des Körpers zu einem gegebenen Zeitpunkt auf seiner Bahn, erfolgt in der Himmelsmechanik durch insgesamt sechs Bahnelemente (vgl. auch Abbildung A.2),

1. der numerischen Exzentrizität ϵ ($=f/a$),
2. der große Bahnhalbachse a ,
3. der Neigung bzw. Inklination i der Bahn bezogen auf die jeweilige Grundebene (bei Erdumlaufbahnen ist das die Äquatorebene),
4. der Länge Ω des aufsteigenden Knotens,
5. dem Abstand ω des Peripunktes vom aufsteigenden Knoten und
6. der Durchgangszeit für den Peripunkt, auch als Epoche t_D bezeichnet.

Die Bahnelemente sind aufgrund von Bahnstörungen nur für einen bestimmten Zeitraum gültig, z.B. nur für den durch die Epoche gekennzeichneten Umlauf. Die Bahnelemente eines Himmelsobjektes werden daher durch Positionsmessungen aktualisiert¹⁵⁴. Häufig werden Bahnelemente in Form des so genannten „*NORAD Two-Line Element Set Format*“ angegeben¹⁵⁵. „*Two-Line Elements Sets*“ für eine Vielzahl von Satelliten finden sich u.a. bei Celestrak [[http://www.celestrak.com/NORAD/elements/\(07.2004\)](http://www.celestrak.com/NORAD/elements/(07.2004))], ebenso eine Beschreibung zur Vorhersage von Position und Geschwindigkeit von die Erde umlaufenden Objekten mittels dieser Daten (siehe [HR80]).

¹⁵⁴Eine Abhandlung zur Bahnbestimmung findet sich z.B. in [Mon01, MP99]

¹⁵⁵Eine Beschreibung des Formats findet sich z.B. unter <http://www.celestrak.com/NORAD/documentation/tle-fmt.shtml> (07.2004).

A.3 Status ausgewählter Satelliten

Die folgende Tabelle gibt eine exemplarische Übersicht über Auflösungsvermögen und Status von bereits gestarteten oder geplanten Satelliten (zumeist für kommerzielle oder wissenschaftliche Zwecke).

Land od. Betreiber	Satellit	Auflösung (GSD) [m]	Status
China/Brasilien	CBERS - 2	20	21. Oktober 2003
China/Brasilien	CBERS - 3	3	2008
China/Brasilien	CBERS - 4	3	2010
Deutschland (auf UoSat-12, ISS)	EagleEye	5 - 7	2005 ?
Deutschland	SAR-Lupe	< 1	2005 bis 2007, insgesamt fünf Satelliten
Deutschland	TerraSAR - X1	1 - 30 (SAR)	Mitte 2005
Deutschland	TerraSAR - L1	1 - 30 (SAR)	Zurückgestellt
Deutschland	TerraSAR-2	1 - 30 (SAR)	2010 ?
ESA	ERS - 2	u.a. 30 (SAR) 1000 (MS) ^a km-Bereich (HS) ^b	21. April 1995
ESA	Envisat - 1	300 (MS) 30; 150 (Radar)	1. März 2002
Frankreich (Italien/Spanien)	Helios - 1A / - 1B	1	Juli 1995/Dez. 1999
Frankreich	Spot - 5	2,5 ; 5 (PAN) 10 ; 20 (MS)	4. Mai 2002
Frankreich (Belgien/Spanien)	Helios - 2A / - 2B	0,7 (vermutet)	2004/?
Frankreich	Pleiades HR Sat.	0,7 (Pan) 2,8 (MS)	2008 + 2009
Indien	IRS - 1C / - 1D	8 (PAN)	1995 bzw. 1997
Indien	TES	1 (PAN)	Oktober 2001
Indien/US	IRS - P6 (Resourcesat)	5,8 (Sichtbar + Infrarot) ?	17. Oktober 2003
Indien/US	IRS - P5 (Cartosat)	2,5 (PAN)	2004
Indien	IRS - CARTOSAT-2 IRS - RISAT-1 IRS - OCEANSAT-2	1 (PAN); 2,5 (MS) 3 - 50 (Radar C-Band) ?	2004 - 2005 2005 - 2006 2006 - 2007
Israel	Ofeq - 3	2	1995 (bis 2000)
Israel	Ofeq - 4	?	verloren gegangen (1998)
Israel	Ofeq - 5	1	28. Mai 2002
Israel	Ofeq - 6 / - 7	< 1 (?)	Ofeq-6 verloren gegangen (6. Sep. 2004)/2008
Israel	TechSAR	? (Radar)	um 2005/2006
ImageSat Int. (Operative Zentrale in Israel)	EROS - A (ähnlich Ofeq - 3)	1,8 (PAN)	5. Dez. 2000
ImageSat Int.	EROS - B (ähnlich Ofeq - 5)	0,82 (PAN) 3,28 (MS)	Ende 2005
ImageSat Int.	EROS - C	0,7 (PAN) 2,4 (MS)	Ende 2007
Italien	RA Sat.	1 (Radar)	?
Japan	IGS - 1A	1 (PAN?)	28 März 2003
Japan	IGS - 1B	3 (SAR)	Zusammen mit IGS - 1A
Japan	IGS - 2A / - 2B	?	Verloren gegangen (29. Nov. 2003)
Japan	ALOS	2,5 (PAN) 10 (MS) 10 (Radar)	Q3/Q4 2004
Kanada	Radarsat - 1	8 - 100 (Radar)	Nov. 1995
Kanada	Radarsat - 2	3 - 100 (Radar)	2005 (Tandem-Mission mit Radarsat-3)

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite (Seite 113)

Land od. Betreiber	Satellit	Auflösung (GSD) [m]	Status
Korea	Kompsat - 1	6,6 (PAN) 1000 (MS)	Dez. 1999
Korea	Kompsat - 2	1 (Pan) 4 (MS)	Nov. 2004
Korea	Kompsat - 3 / -4	?	zwischen 2005 u. 2010
Korea/Malaysia	RazakSAT/MACSAT	2,5 (PAN) 5 (MS)	Q3/Q4 2004
Taiwan	ROCSAT - 2	2 (PAN) 8 (MS)	20. Mai 2004 von Vandenberg Air Force Base (VAFB).
Taiwan	ROCSAT - 3	- GPS occultation receiver (GOX) - Tiny Ionospheric Photometer (TIP) - Tri-Band Beacon (TBB)	Herbst 2005
UK	TopSat	1 (PAN) 2,5 (MS)	2005
USA	Lacrosse	1 - 3 (Radar)	März 1991 Oktober 1997 August 2000
USA	KH-11/12 („Keyhole“)	≈ 0,1	Okt. 1995 Dez. 1996 Okt. 2000
USA	Landsat 7	15 (PAN) 30; 60 (MS)	1999
USA, Spaceimaging	IKONOS - 1	1 (PAN) 4 (MS)	verloren gegangen (28. April 1999)
USA, Spaceimaging	IKONOS - 2	1 (PAN) 4 (MS)	24. Sept. 1999
USA, Digitalglobe	Quickbird - 1	0,82 (PAN) 3,2 (MS)	verloren gegangen (20 Nov. 2000)
USA, Digitalglobe	Quickbird - 2	0,61 (PAN) 2,44 (MS)	18. Okt. 2001
USA, Digitalglobe	Worldview	0,5 (PAN) 2,0 (MS)	30.11.2005 von VAFB
USA, OrbitalScience	Orbview - 3	1-2 (PAN) 4 (MS)	26. Juni 2003
USA, OrbitalScience	Orb View - 4	1 (PAN) 4 (MS) 8 (HS)	verloren gegangen (21. Sept. 2001)
USA defense (weather)	DMSP F-16	500	18.10.2003
USA	Resource21	10	Projekt verschoben
USA, RDL Space Corp.	Radar1	1 (SAR)	Lizenz für Radar1-System zurückgenommen ?

Tabelle A.2: Status ausgewählter Satelliten [Kombination verschiedener Quellen, siehe [ZZZ]]. Es bezeichnen: (PAN): Panchromatisch, (MS): Multispektral, (HS):Hyperspektral, (SAR): Synthetisches Apertur Radar

^a: *Along Track Scanning Radiometer* (ATSR-2) mit sieben Bändern.

^b: *Global Ozon Monitoring Experiment* (GOME), Bodenauflösung im Nadir 40 x 20 km², 40 x 320 km² bzw. 100 x 960 km² (abhängig von der Integrationszeit).

A.4 Bahngrößen militärischer Satelliten (Auswahl)

Militärische Satelliten verteilen sich, ähnlich den kommerziellen Satelliten, auf nur einen Teil denkbar möglicher Bahnen. Die folgende Tabelle A.3 gibt zum Vergleich zu den Bahnhöhen (nicht geheimer) Satelliten aus Abbildung 4.2 einen exemplarischen Überblick zu den Bahnhöhen militärischer Satelliten.

Die Bahnhöhen von Satelliten können als Anhaltspunkt für die Abwägung einer möglichen Gefährdung von Satelliten verstanden werden, da sie eine Abschätzung zu nötigen technischen Voraussetzungen erlauben, z.B. über welche Arten von Trägersystemen ein potenzieller Aggressor verfügen muss, um einen bestimmten Satelliten mit einer Rakete prinzipiell zu erreichen.

Man beachte, dass zur genauen Kenntnis der Bahn weitere und genauere Angaben nötig sind,

z.B. die Bahnelemente in Form von „*Two-Line Elements Sets*“ (vgl. Kapitel A.2). Derartige Angaben werden von offizieller Seite für militärische Systeme nicht öffentlich zur Verfügung gestellt, die in der Tabelle genannten Werte sind anhand der von Weltraumenthusiasten für klassifizierte Satelliten bestimmten Bahnparameter berechnet.

Mit dem *US Defense Authorization Act* vom November 2003 [NDA03] wurde auch der öffentliche Zugriff auf Bahnparameterdaten von Raumfahrzeugen und Trümmern (*debris*) weiter eingeschränkt, welche bisher vom *North American Aerospace Defense command (NORAD)* weitestgehend frei¹⁵⁶ über Internet zugänglich waren. Nutzer haben für die Daten zu zahlen und werden verpflichtet, diese/solche Informationen nicht ohne Genehmigung des *US Department of Defense* zu transferieren. Regierungen und andere Betreiber nutzen diese Informationen für Bahnmanöver und zur Verhinderung von Kollisionen von Raumfahrzeugen mit Trümmerteilen. In Anbetracht einer möglichen Abhängigkeit der internationalen Gemeinschaft von den USA mehren sich Stimmen im Hinblick auf die Entwicklung einer *international space monitoring capability*. [CCE⁺05]

¹⁵⁶Begrenzung des Datenvolumens und Ausschluss von Daten geheimer US Satelliten.

Name	a [km]	i [Grad]	e	b [km]	AP [km]	PE [km]	F1 [km]	T [Min]	Bemerkung
NOSS 0 (A)	7364	70.0	0.00075	7364	999	988	6	104.82	auch OPS 7898, Ferret-24
NOSS 0 Rk	7325	70.0	0.00110	7325	962	946	8	103.98	
NOSS 0 (C)	7363	70.0	0.00100	7363	999	984	7	104.79	
NOSS 0 (D)	7363	70.0	0.00120	7363	1001	983	9	104.79	
NOSS 0 (E)	7363	70.0	0.00100	7363	999	985	7	104.79	
DMSP 7	7197	98.6	0.00540	7197	865	787	39	101.28	auch OPS 6226
NOSS 1 (A)	7445	63.3	0.08400	7419	1700	449	625	106.56	auch OPS 6431
NOSS 1 (C)	7445	63.3	0.08395	7419	1699	449	625	106.55	
NOSS 1 (D)	7447	63.3	0.08415	7421	1703	450	627	106.60	
NOSS 1 (J)	7445	63.3	0.08395	7419	1699	449	625	106.55	
AMS 1(DMSP F1)	7185	99.0	0.00170	7185	826	802	12	101.02	auch OPS 5721
AMS 2(DMSP F2)	7177	99.1	0.00380	7177	833	779	27	100.86	
NOSS 2 (A)	7472	63.4	0.07620	7450	1670	531	569	107.13	auch OPS 8781
NOSS 2 (D)	7471	63.4	0.07680	7449	1674	527	574	107.12	
NOSS 2 (E)	7471	63.3	0.07630	7450	1670	530	570	107.12	
NOSS 2 (F)	7472	63.4	0.07640	7451	1672	530	571	107.14	
AMS 4(DMSP F4)	7180	98.9	0.00150	7180	820	799	11	100.92	auch OPS 5390
NOSS 3 (A)	7479	63.4	0.06345	7464	1583	634	475	107.29	auch OPS 7249
NOSS 3 (C)	7479	63.4	0.06910	7461	1624	591	517	107.27	
NOSS 3 (D)	7479	63.4	0.06930	7461	1626	589	518	107.28	
NOSS 3 (G)	7481	63.4	0.06380	7466	1587	633	477	107.32	
KH 9-16 Elint	7706	96.6	0.00060	7706	1340	1331	5	112.21	auch OPS 1292
KH 9-17 Elint	7004	96.0	0.00040	7004	636	631	3	97.24	auch OPS 6553, Hitchhiker-42
NOSS 4 (A)	7481	63.4	0.06070	7468	1564	656	454	107.33	auch OPS 0252
NOSS 4 (E) ot	7483	63.4	0.06100	7469	1568	655	456	107.36	
NOSS 4 (F) Id	7482	63.4	0.06155	7468	1572	651	461	107.36	
NOSS 4 (H) tr	7482	63.4	0.06125	7468	1570	653	458	107.36	
NOSS 5 (A)	7482	63.4	0.05950	7469	1556	666	445	107.35	auch OPS 6432

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite.

Name	a [km]	i [Grad]	e	b [km]	AP [km]	PE [km]	$F1$ [km]	T [Min]	Bemerkung
KH 9-18 Elint	7665	96.7	0.00020	7665	1295	1292	2	111.31	
NOSS 5 (C)	7483	63.4	0.06020	7469	1562	661	450	107.36	auch OPS 3899
NOSS 5 (D)	7483	63.4	0.06010	7469	1561	662	450	107.36	
NOSS 5 (G)	7483	63.4	0.05935	7470	1556	668	444	107.37	
NOSS 6 (A)	7483	63.4	0.05745	7470	1541	682	430	107.36	auch OPS 8737
NOSS 6 (C)	7485	63.4	0.05805	7472	1549	680	435	107.41	
NOSS 6 (D)	7485	63.4	0.05810	7472	1549	679	435	107.41	
NOSS 6 (F)	7485	63.4	0.05700	7473	1541	687	427	107.41	
USA 3	6998	95.9	0.00040	6998	630	624	3	97.10	auch Small Elint
NOSS 7 (A)	7483	63.4	0.05050	7474	1490	735	378	107.38	auch USA 15
NOSS 7 (D)	7485	63.4	0.05170	7475	1501	727	387	107.42	
NOSS 7 (E)	7485	63.4	0.05180	7475	1502	727	388	107.42	auch USA 16, SSU
NOSS 7 (H)	7485	63.4	0.05050	7476	1492	736	378	107.42	auch USA 18 (SSU)
NOSS 8 (A)	7483	63.4	0.04865	7474	1476	748	364	107.36	auch USA 22
NOSS 8 (E)	7485	63.4	0.04780	7476	1471	756	358	107.40	auch USA 23
NOSS 8 (F)	7485	63.4	0.04755	7476	1469	758	356	107.40	auch USA 24
NOSS 8 (H)	7485	63.4	0.04635	7477	1460	767	347	107.40	auch USA 25
USA 32	7161	85.0	0.00040	7161	793	787	3	100.52	auch NOSS 9
USA 39	42165	7.7	0.00708	42164	36092	35495	299	1436.12	auch IMEWS 15
USA 40 Rk	10689	57.0	0.35825	9979	8147	489	3829	183.30	auch Advanced Jumpseat 1
NOSS 2-1 (E)	7486	63.4	0.03670	7481	1389	840	275	107.43	auch USA 62
NOSS 2-1 (C)	7486	63.4	0.03720	7480	1393	836	278	107.43	auch USA 60
NOSS 2-1 (D)	7486	63.4	0.03720	7480	1393	836	278	107.43	auch USA 61
DSP 15 (USA65)	42165	7.2	0.00096	42165	35834	35753	41	1436.11	auch IMEWS 15
Lactosse 2	7023	68.0	0.00050	7023	656	649	4	97.62	auch USA 69
DMSP B5D2-6	7219	98.7	0.00115	7219	856	839	8	101.73	auch USA 73
NOSS 2-2 (C)	7486	63.4	0.03280	7482	1360	869	246	107.43	
DSP 16 (USA75)	42162	4.0	0.00039	42162	35808	35775	16	1435.99	auch IMWES 16

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite.

Name	a [km]	i [Grad]	e	b [km]	AP [km]	PE [km]	$F1$ [km]	U [Min]	Bemerkung
NOSS 2-2 (D)	7486	63.4	0.03330	7481	1364	865	249	107.43	auch USA 76, SSU
NOSS 2-2 (E)	7486	63.4	0.03210	7482	1355	874	240	107.43	auch USA 77
USA 81	7168	85.0	0.00005	7168	797	796	0	100.65	auch NOSS 10, OPS 9221
USA 89 PKM Rk	9951	56.9	0.32244	9419	6788	371	3209	164.64	auch Advanced Jumpseat 2
Alexis	7164	69.9	0.00600	7164	836	750	43	100.58	
Alexis Rk	7168	69.9	0.00630	7167	842	751	45	100.65	
USA 102	6889	105.0	0.00190	6889	531	505	13	94.83	auch Darpasat
USA 101 r	6855	105.0	0.00100	6855	491	477	7	94.14	
USA 103	26552	63.7	0.72140	18388	39335	1026	19154	717.64	auch Advanced Jumpseat 3
DMSP B5D2-7	7222	98.5	0.00115	7222	859	843	8	101.80	auch USA 106, DMSPF 12
DMSP B5D2-8	7221	98.8	0.00050	7221	854	847	4	101.79	auch USA 109, DMSPF 13
Milstar DFS 2	42165	0.4	0.00052	42165	35816	35772	22	1436.13	USA 115, Milstar 1-2
MSX	7280	99.2	0.00060	7280	913	904	4	103.02	
NOSS 2-3 (D)	7486	63.4	0.01790	7484	1249	981	134	107.43	auch USA 122, NOSS 11
NOSS 2-3 (C)	7486	63.4	0.01800	7484	1249	980	135	107.43	auch USA 121, SSU
NOSS 2-3 (E)	7486	63.4	0.01780	7484	1248	981	133	107.43	auch USA 123 TIPS-1
TIPS	7370	63.4	0.02560	7368	1188	810	189	104.95	auch USA 124 TIPS-2
USA 125 Rk2	13585	55.4	0.48930	11848	13861	567	6647	262.64	SDS 2-1
DMSP 5D-2 S-14	7220	98.6	0.00070	7220	854	844	5	101.77	auch USA 131, SMSPF 14
Lacrosse 3	7036	57.0	0.00035	7036	667	662	2	97.89	auch USA 133
USA 136	26557	63.2	0.69970	18974	38769	1604	18582	717.87	auch Trumpet 1
USA 136 CentRk	18284	63.5	0.64636	13951	23731	95	11818	410.08	
GFO	7165	108.1	0.00020	7165	795	792	1	100.59	
STEX	7116	85.0	0.00080	7116	751	739	6	99.57	
ATEX	7125	85.0	0.00050	7125	758	751	4	99.77	auch USA 141
Milstar 3	9501	28.2	0.21330	9282	5157	1103	2027	153.61	auch USA 143 ^a , Milstar 2-1
MStar 3 CentRk	9306	28.3	0.23820	9038	5152	718	2217	148.91	
USA 144	9288	63.5	0.02460	9286	3146	2689	228	148.48	auch NOSS 12

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite.

^afailed to achieve correct orbit

Name	a [km]	i [Grad]	e	b [km]	AP [km]	PE [km]	$F1$ [km]	U [Min]	Bemerkung
DMSP F15	7217	98.7	0.00100	7217	853	839	7	101.70	auch USA 147
USA 148 Rk	21545	26.1	0.69306	15531	30105	242	14932	524.54	
DSP 20(USA149)	42166	0.5	0.00100	42166	35837	35753	42	1436.17	auch INEWS 20
Lacrosse 4	7058	68.0	0.00060	7058	691	683	4	98.36	auch USA 152
USA 160	7486	63.4	0.00550	7486	1156	1073	41	107.43	
USA 160 r	7474	63.5	0.00680	7474	1154	1052	51	107.17	
USA 160 (C)	7486	63.4	0.00560	7486	1157	1073	42	107.43	
Milstar 5	42165	3.5	0.00080	42165	35828	35760	34	1436.12	auch USA 164, Milstar 2-3
Milstar 5 Cr	42199	6.3	0.00235	42199	35927	35729	99	1437.87	
IGS 1A	6866	97.4	0.00010	6866	496	494	1	94.37	
IGS 1B	6866	97.4	0.00020	6866	496	494	1	94.37	
Milstar 6	42165	3.5	0.00010	42165	35798	35790	4	1436.13	auch USA 169
Milstar 6 Cr	42085	2.9	0.00390	42085	35878	35550	164	1432.04	
USA 171 r	42003	6.0	0.00311	42003	35763	35502	131	1427.88	
DMSP F16	7226	98.9	0.00100	7226	862	848	7	101.88	auch USA 172
NOSS 3-2 (A)	7486	63.4	0.01190	7485	1204	1026	89	107.43	
NOSS 3-2 r	7485	63.7	0.01340	7485	1215	1014	100	107.42	
NOSS 3-2 (C)	7486	63.4	0.01200	7485	1204	1025	90	107.43	
Unknwn 981015	42292	14.4	0.00123	42292	35973	35869	52	1442.64	
Unknwn 990103	42617	12.5	0.00542	42617	36477	36016	231	1459.31	
Unknwn 990907	26480	63.6	0.70133	18876	38681	1538	18571	714.74	
Unknwn 991031	42365	7.9	0.04613	42320	37948	34039	1954	1446.36	
Unk 2000 096	26552	63.2	0.72341	18332	39389	973	19208	717.66	
Unknwn 000601	42180	5.8	0.00520	42180	36028	35590	219	1436.90	
Unknwn 001203	42085	5.3	0.00261	42085	35824	35604	110	1432.04	
Unknwn 010313	42166	1.9	0.00123	42166	35847	35743	52	1436.17	
MDS 1 Fairing2	24458	28.4	0.72425	16864	35800	373	17714	634.44	
Unknwn 030305	42165	7.0	0.00800	42163	36131	35456	337	1436.11	

Fortsetzung der Tabelle auf der nächsten Seite.

Name	a [km]	i [Grad]	e	b [km]	AP [km]	PE [km]	$F1$ [km]	U [Min]	Bemerkung
Unknown 030226	42165	3.0	0.00150	42165	35857	35730	63	1436.11	
Unknown 030405	42164	8.3	0.10538	41929	40237	31350	4443	1436.09	
Unknown 030923	42164	6.4	0.04567	42120	37719	33868	1926	1436.10	
Unknown 031007	42165	3.0	0.00020	42165	35803	35786	8	1436.15	
Unknown 031017	42166	2.8	0.00034	42166	35810	35781	14	1436.21	
Unknown 031017	7559	27.3	0.13104	7494	2179	198	991	109.01	
Unknown 040208	26555	65.1	0.69426	19112	38620	1748	18436	717.77	
Unknown 040313	42450	2.2	0.00000	42450	36079	36079	0	1450.70	
GEO331	42165	2.1	0.00358	42164	35945	35642	151	1436.11	
GEO337(VORTEX)	42165	6.2	0.09190	41987	39669	31919	3875	1436.13	auch USA 118 (?)

Tabelle A.3: Bahngrößen militärischer Satelliten (Auswahl). Es bezeichnen a die große Bahnhalbachse, i die Inklination, e die Exzentrizität, b die kleine Bahnhalbachse, AP das Apogäum, PE das Perigäum, $F1 = a \cdot e$ die Entfernung des Brennpunktes vom Mittelpunkt der Ellipse und U die Umlaufzeit des Satelliten. Die Werte sind den von Weltraumenthusiasten für klassifizierte Satelliten bestimmten *two line element sets* [[\(http://www.wpusa.dynip.com/files/SPACE/CLASSFD.TLE\)](http://www.wpusa.dynip.com/files/SPACE/CLASSFD.TLE) (Mai 04)] entnommen bzw. aus diesen berechnet. Zur Bestimmung der Anwendungsbereiche einiger Satelliten siehe Tabelle 2.2.

A.5 Weitere Beispiele zur zeitlichen Entwicklung der Trümmerwolke

Ergänzend zum Kapitel 4.4.8 zeigen die folgenden Abbildungen, analog zur Abbildung 4.19, zwei weitere Beispiele zur zeitlichen Entwicklung der Trümmerwolke¹⁵⁷.

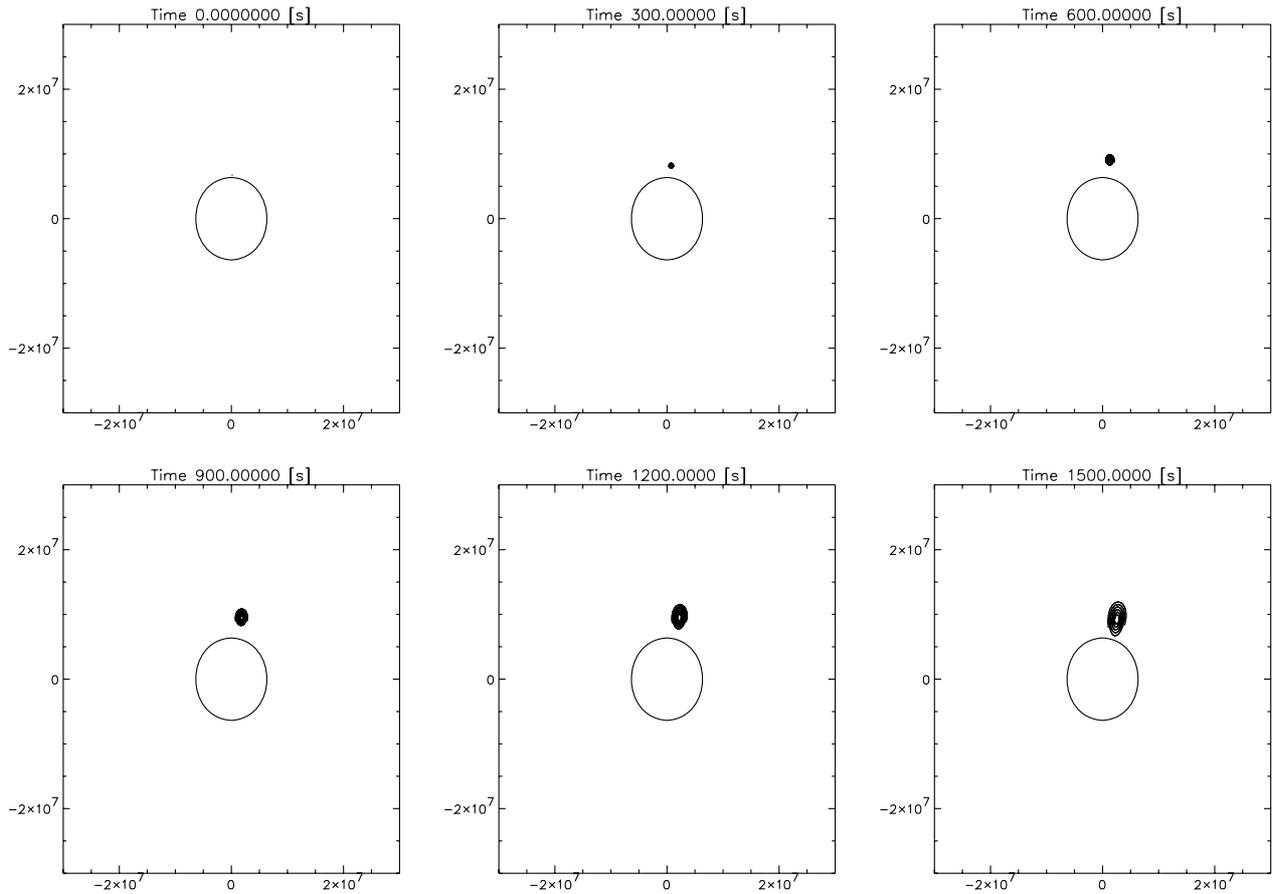


Abbildung A.3: Zur zeitlichen Entwicklung einer Nutzlast (2a). Gezeigt ist die Position der Kugeln (eine Ebene, Azimut von 0° bzw. 180°) relativ zur Erde (Mittelkreis) zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Zünden des Kerns der Nutzlast (Zündzeitpunkt bei $t = 0$ s). Die Gesamtmasse der Nutzlast betrug etwa 700kg, die Masse des Sprengstoffs betrug 70kg. Die Rakete wurde unter einem Winkel von $\theta = 15^\circ$ gestartet, die Zündung erfolgte bei maximaler Geschwindigkeit der Rakete in einer Höhe von $h \approx 351$ km. Die Achsen geben Längenangaben in Metern an.

¹⁵⁷Beim Vergleich der Abbildungen beachte man die verschiedenen zeitlichen Schrittweiten zwischen den Einzelplots von $\Delta t = 300$ s in den Abb. A.3 und Abb. A.4 (sowie Abb. A.3) bzw. $\Delta t = 100$ s bei Abb. A.5 und Abb. A.6.

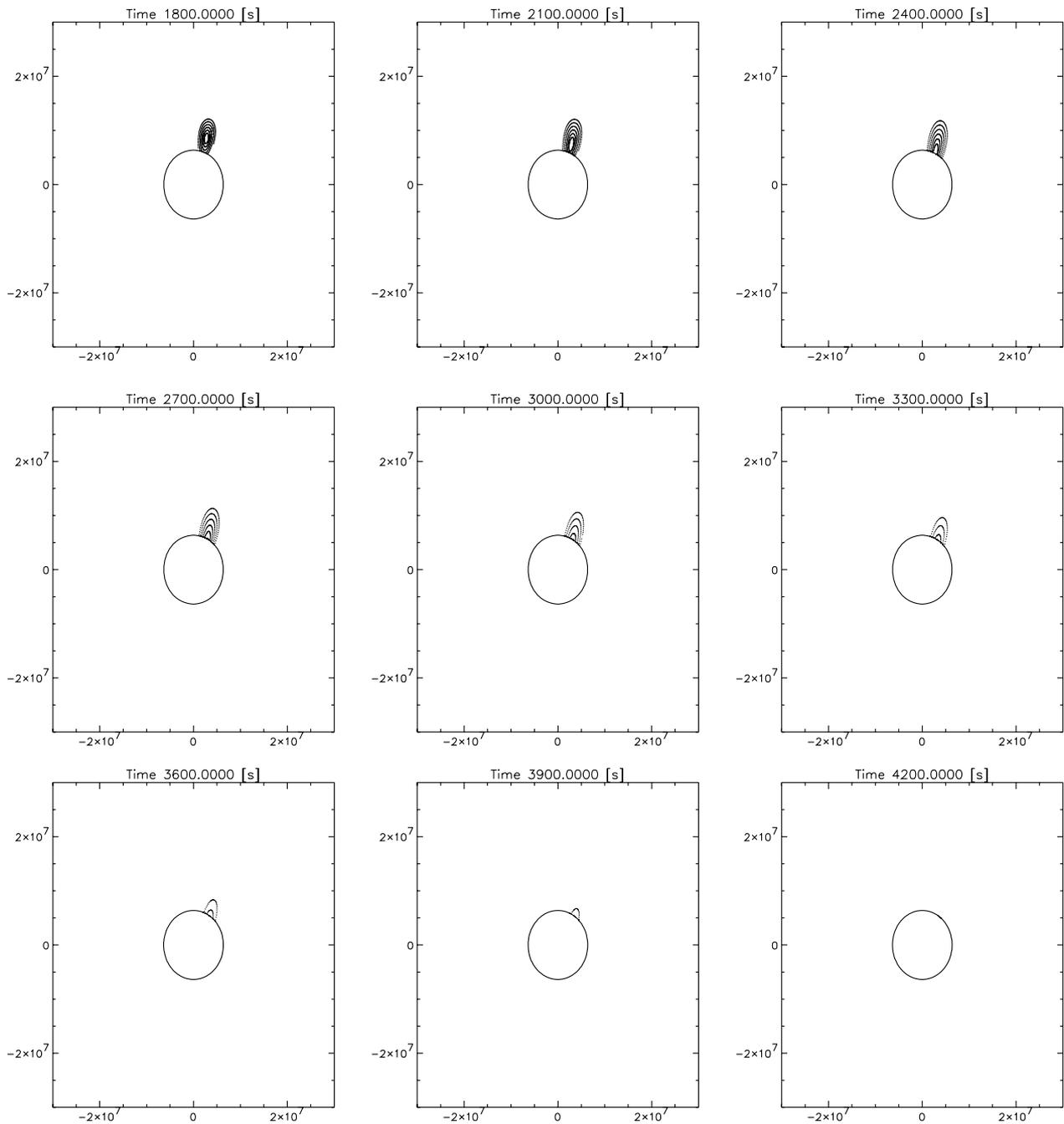


Abbildung A.4: Zur zeitlichen Entwicklung einer Nutzlast (2b). Fortsetzung der Abbildung A.3.

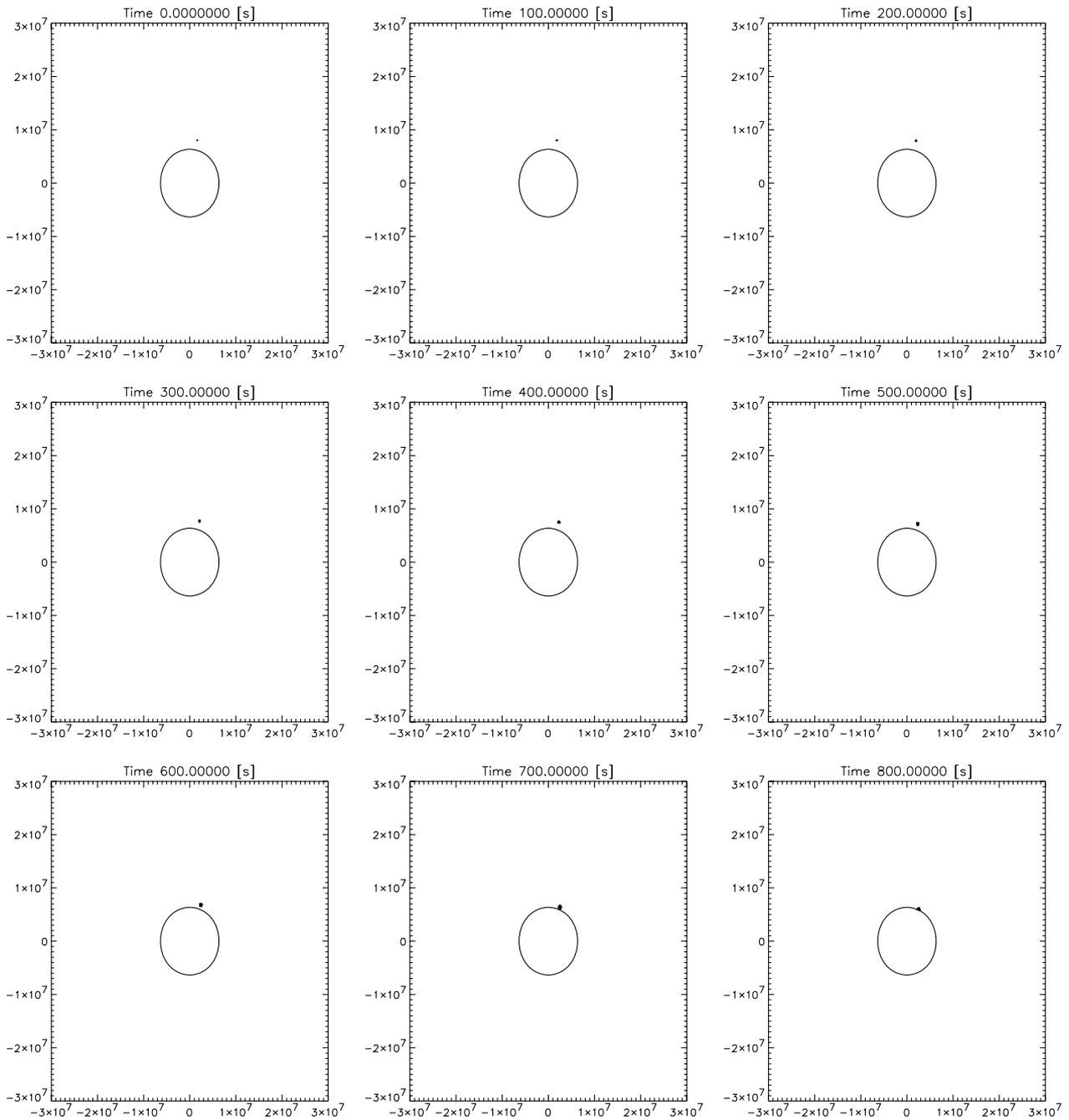


Abbildung A.5: Zur zeitlichen Entwicklung einer Nutzlast (3a). Gezeigt ist die Position der Kugeln (eine Ebene, Azimut von 0° bzw. 180°) relativ zur Erde (Mittelkreis) zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Zünden des Kerns der Nutzlast (Zündzeitpunkt bei $t = 0$ s). Die Gesamtmasse der Nutzlast betrug etwa 3500kg, die Masse des Sprengstoffs betrug 50kg. Die Rakete wurde unter einem Winkel von $\theta = 20^\circ$ gestartet. Die Zündung erfolgte bei maximaler Höhe der Rakete über dem Erdboden von $h \approx 1883$ km. Der Radius der Metallkugeln wurde gleich 0,01m, das Geschwindigkeitsverhältnis von innerer und äußerer Kugelschale wurde mit $\alpha = 4$ angenommen. Die Achsen geben Längenangaben in Metern an.

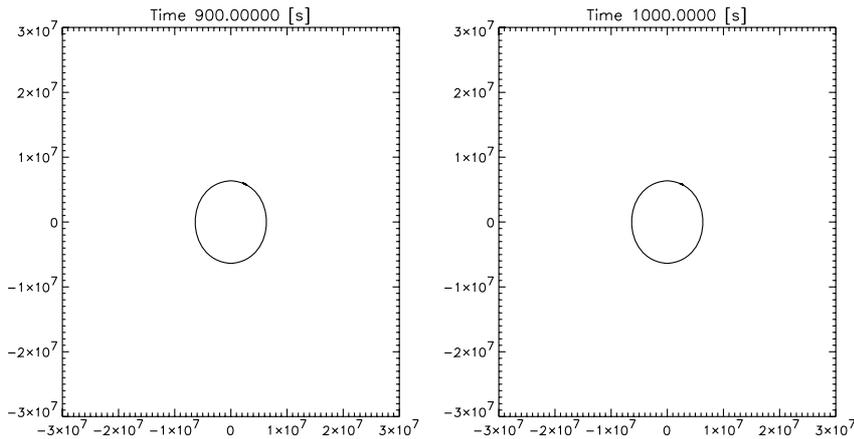


Abbildung A.6: Zur zeitlichen Entwicklung einer Nutzlast (3b). Fortsetzung der Abbildung A.5.

A.6 Chinesisch-Russischer-Vorschlag für ein Abkommen zur Verhinderung der Bewaffnung des Weltraums

Joint Working Paper by the Delegations of China and the Russian Federation, co-sponsored by Viet Nam, Indonesia, Belarus, Zimbabwe, and Syria

This Joint Working Paper of The Peoples' Republic of China and the Russian Federation was introduced at the Conference on Disarmament on June 27, 2002, under the title „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“.

I. Possible Name of Such Agreement

Treaty on the Prevention of the Deployment of Weapons in Outer Space, the Threat or Use of Force Against Outer Space Objects

II. Preamble

Outer space is the common heritage of mankind and plays an ever-increasing role in its future development.

There exists a potential danger of an armed confrontation and combatant activities being extended to outer space.

The prevention of the deployment of weapons and an arms race in outer space becomes a pressing task facing the international community.

The United Nations General Assembly has adopted a series of resolutions on peaceful use of outer space and prevention of an arms race in outer space, which have provided a prerequisite and basis for the prevention of the deployment of weapons and an arms race in outer space.

The existing agreements on arms control and disarmament relevant to outer space, including those bilateral ones, and the existing legal regimes concerning outer space have played a positive role in the peaceful use of outer space and in regulating outer space activities. These agreements

and legal regimes should be strictly complied with. However, they are unable to effectively prevent the deployment of weapons and an arms race in outer space.

For the benefit of mankind, outer space shall be used for peaceful purposes, and it shall never be allowed to become a sphere of military confrontation.

Only a treaty-based prohibition of the deployment of weapons in outer space and the prevention of the threat or use of force against outer space objects can eliminate the emerging threat of an arms race in outer space and ensure the security for outer space assets of all countries which is an essential condition for the maintenance of world peace.

III. Basic Obligations

Not to place in orbit around the Earth any objects carrying any kinds of weapons, not to install such weapons on celestial bodies, or not to station such weapons in outer space in any other manner.

Not to resort to the threat or use of force against outer space objects.

Not to assist or encourage other States, groups of States, international organizations to participate in activities prohibited by this Treaty.

IV. National Measures for the Implementation of the Treaty

Each State Party to the Treaty shall, in accordance with its constitutional process, take any measures necessary to prevent or prohibit any activity contrary to this Treaty on its territory, or in any other place under its jurisdiction or control.

V. The Use of Outer Space for Peaceful and Other Military Purposes

This Treaty shall not be construed as impeding the research and use of outer space for peaceful purposes or other military uses not prohibited by this Treaty.

Each State Party to the Treaty shall carry out activities in outer space in accordance with the general principles of international law and shall not violate the sovereignty and security of other States.

VI. Confidence Building Measures

To enhance mutual trust, each State Party to the treaty shall promulgate its space programme, declare the locations and scopes of its space launch sites, the property and parameters of objects being launched into outer space, and notify the launching activities.

VII. Settlement of Disputes

If a suspicion arises against any State Party to the Treaty that it is violating the Treaty, the suspecting State Party, or a group of the suspecting State Parties to this Treaty shall conduct consultations and cooperate with the suspected State Party to this Treaty in order to settle down the aroused suspicion. Each suspecting State Party to this Treaty shall have the right to request clarification from the suspected State Party to this Treaty, whereas the suspected State Party to this Treaty shall undertake to provide requested clarifications.

If consultations or clarification fail to settle down the dispute, the suspicion that has aroused shall be referred to the executive organization of the Treaty for consideration together with relevant arguments.

Each State Party to this Treaty shall undertake to cooperate in the settlement of the suspicion that has aroused by the executive organization of the Treaty.

VIII. The Executive Organization of the Treaty

To promote the objectives and implementation of the provisions of this Treaty, the States Parties to the Treaty shall hereby establish the executive organization of the Treaty, which shall:

- a) receive for consideration inquires by any State Party or a group of States Parties to the Treaty related to the suspicion, which has aroused by the violation of this Treaty by any State Party to the Treaty;
- b) consider matters concerning the compliance with the obligations taken by the States Parties to this Treaty;
- c) organize and conduct consultations with the States Parties to the Treaty with a view to settling down the suspicion that has aroused against any State Party to the Treaty concerning its violation of this Treaty;
- d) take necessary measures to end violation of this Treaty by any State Party to the Treaty.

IX. Amendments to the Treaty

Any State Party to this Treaty may propose amendments to the Treaty. The text of any proposed amendment to this Treaty shall be submitted to the Depositary Governments who shall promptly circulate it to all the States Parties to the Treaty. Upon the request of at least one third of the States Parties to the Treaty, the Depositary Governments shall convene a conference to which all the States Parties shall be invited to consider the proposed amendment. Any amendment to this Treaty must be approved by a majority of the votes of all the States Parties to the Treaty. The amendment shall enter into force for all the States Parties to the Treaty in accordance with the procedures governing the entry into force of this Treaty.

X. Duration of the Treaty and Withdrawal from the Treaty

The Treaty shall be of unlimited duration.

Each State Party to the Treaty shall, in exercising its state sovereignty, have the right to withdraw from this Treaty if it decides that extraordinary events, related to the subject matter of this Treaty, have jeopardized its supreme interests. It shall give notice to the Depositary Governments of the decision adopted six months in advance of the withdrawal from the Treaty. Such a notification shall include a statement of the extraordinary events, which the notifying State Party to the Treaty regards as having jeopardized its supreme interests.

XI. Signature and Ratification of the Treaty

This Treaty shall be open for signature by all States at United Nations Headquarters in New York. Any State, which does not sign this Treaty before its entry into force, may accede to it at any time.

The Treaty shall be subject to ratification by signatory States in accordance with their constitutional process. Instruments of ratification or accession shall be deposited with the Depositary Governments.

This Treaty shall be registered by the Depositary Governments pursuant to Article 102 of the Charter of the United Nations.

XII. Entry into Force of the Treaty

This Treaty shall enter into force upon the deposit of instruments of ratification by twenty States, including all Permanent Member States of the United Nations Security Council. For States whose instruments of ratification or accession are deposited after the entry into force of this Treaty, it shall enter into force on the date of the deposit of their instruments of ratification or accession.

XIII. Authentic Texts of the Treaty

This Treaty, of which the Arabic, Chinese, English, French, Russian and Spanish texts are equally authentic, shall be deposited in the archives of the Depositary Governments, who shall send duly certified copies thereof to all the signatory and acceding States.

Quelle: [CRP02]

A.7 Resolution A/1348(XIII) der Vollversammlung der Vereinten Nationen



RESOLUTION ADOPTED BY THE GENERAL ASSEMBLY

1348 (XIII). Question of the peaceful use of outer space

The General Assembly,

Recognizing the common interest of mankind in outer space and recognizing that it is the common aim that outer space should be used for peaceful purposes only,

Bearing in mind the provision of Article 2, paragraph 1, of the Charter of the United Nations, which states that the Organization is based on the principle of the sovereign equality of all its Members,

Wishing to avoid the extension of present national rivalries into this new field,

Desiring to promote energetically the fullest exploration and exploitation of outer space for the benefit of mankind,

Conscious that recent developments in respect of outer space have added a new dimension to man's existence and opened new possibilities for the increase of his knowledge and the improvement of his life,

Noting the success of the scientific co-operative programme of the International Geophysical Year in the exploration of outer space and the decision to continue and expand this type of co-operation,

Recognizing the great importance of international cooperation in the study and utilization of outer space for peaceful purposes,

Considering that such co-operation will promote mutual understanding and the strengthening of friendly relations among peoples,

Believing that the development of programmes of international and scientific co-operation in the peaceful uses of outer space should be vigorously pursued,

Believing that progress in this field will materially help to achieve the aim that outer space should be used for peaceful purposes only,

Considering that an important contribution can be made by the establishment within the framework of the United Nations of an appropriate international body for co-operation in the study of outer space for peaceful purposes,

Desiring to obtain the fullest information on the many problems relating to the

peaceful uses of outer space before recommending specific programmes of international co-operation in this field,

1. *Establishes* an *ad hoc* Committee on the Peaceful Uses of Outer Space composed of the representatives of Argentina, Australia, Belgium, Brazil, Canada, Czechoslovakia, France, India, Iran, Italy, Japan, Mexico, Poland, Sweden, the Union of Soviet Socialist Republics, the United Arab Republic, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland and the United States of America, and requests it to report to the General Assembly at its fourteenth session on the following:

- (a) The activities and resources of the United Nations, of its specialized agencies and of other international bodies relating to the peaceful uses of outer space;
- (b) The area of international co-operation and programmes in the peaceful uses of outer space which could appropriately be undertaken under United Nations auspices to the benefit of States irrespective of the state of their economic or scientific development, taking into account the following proposals, *inter alia*:
 - (i) Continuation on a permanent basis of the outer space research now being carried on within the framework of the International Geophysical Year;
 - (ii) Organization of the mutual exchange and dissemination of information on outer space research;
 - (iii) Co-ordination of national research programmes for the study of outer space, and the rendering of all possible assistance and help towards their realization;
- (c) The future organizational arrangements to facilitate international co-operation in this field within the framework of the United Nations;
- (d) The nature of legal problems which may arise in the carrying out of programmes to explore outer space;

2. *Requests* the Secretary-General to render appropriate assistance to the above-named Committee and to recommend any other steps that might be taken within the existing United Nations framework to encourage the fullest international co-operation for the peaceful uses of outer space.

*792nd plenary meeting,
13 December 1958.*

Literaturverzeichnis

- [AD02] AXWORTHY, LLOYD und MERAV DATAN: *Prevention of an Arms Race in Outer Space*. In: SCHEFFRAN, JÜRGEN und REGINA HAGEN [SH02], Seiten 4–8.
- [Ada01] ADAMS, THOMAS K.: *GPS Vulnerabilities*. Military Review, March-April 2001. <http://www.leavenworth.army.mil/milrev/download/English/MarApr01/adams.pdf> (19.8.05).
- [AdV04] SATELLITENPOSITIONIERUNGSDIENST DER DEUTSCHEN LANDESVERMESSUNG, ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VERMESSUNGSVERWALTUNGEN DER LÄNDER DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (ADV), Zentrale Stelle SAPOS, c/o LGN, Podbielskistr. 331, 30659 Hannover: *SAPOS ... bringt Sie in Position – Grundlagen*, März 2004. Informationsheft, http://www.sapos.de/pdf/Flyer/2004Heft_d.pdf (Juni 04).
- [AF97] UNITED STATES AIR FORCE, Washington, USA: *America's Air Force Vision 2020*, 1997. <http://www.af.mil/library/posture/vision/vision.pdf> (10.2004).
- [AF98] ALONSO, MARCELO und EDWARD J. FINN: *Quantenphysik und Statistische Physik*. R. Oldenbourg Verlag GmbH, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, Rosenheimer Straße 145, D-81671 München, 3. Auflage, 1998. ISBN: 3-486-24836-7.
- [AKL⁺92] ALTMANN, JÜRGEN, BERND W. KUBBIG, WOLFGANG LIEBERT, JÜRGEN SCHEFFRAN, GÖTZ NEUNECK und KATRIN FUCHS: *Von SDI zu GPALS. Des Kaisers neue Kleider*. Wissenschaft & Frieden, Dossier Nr. 10, Heft 2. Bund demokratischer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler (BdWi-Verlag), Marburg, 1992. <http://www.uni-muenster.de/PeaCon/wuf/wf-92/9221501m.htm> (Mai 2004).
- [Alc01] ALCATEL SPACE: *Syracuse III – France's new-generation military satcom system*. leaflet 04/2001.3000, Alcatel Space, Direction Générale, 5, rue Noël Pons, Nanterre la Défense, F., April 2001. <http://www.alcatel.com/space/pdf/systems/syracuse3-gb.pdf> (10.2004).
- [Alt88] ALTMANN, JÜRGEN: *SDI for Europe? – Technical Aspects of Anti-Tactical Ballistic Missile Defenses*. PRIF Research Report 3/1988, Hessische Stiftung Friedens- und Konfliktforschung (HSFK), Frankfurt am Main, Deutschland, September 1988. ISBN 3-926197-49-8.
- [ATF03] *The U.S. Air Force Transformation Flight Plan*. Report, HQ USAF/XPXC Future Concepts and Transformation Division, Air Force Link, Office of the Secretary of Air Force (Public Affairs), Pentagon, Washington, D.C., November 2003. http://www.af.mil/library/posture/AF_TRANS_FLIGHT_PLAN-2003.pdf (Juni 04).

- [B⁺90] BRAID, T.H. und OTHERS: *Laser Brightness Verification*. Science and Global Security, 2(1), 1990. http://www.princeton.edu/%7Eglosec/publications/pdf/2_1Braid.pdf.
- [Bat04] BATTRICK, BRUCE (Herausgeber): *The European Space Sector in a Global Context – ESA’s Annual Analysis 2003*. ESA Publications Division, ESTEC, P.O. Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands, April 2004. ISSN: 0250-1589, ISBN: 92-9092-727-5.
- [BBD⁺01] BAUDOIN, A., E. BOUSSARIE, P. DAMILANO, G. RUM und F. CALTAGIRONE: *Pléades: a Multi Mission and Multi Cooperative Program*. Contribution to 52nd International Astronautical Congress, 1-5 October 2001, Toulouse, France, Oktober 2001. <http://smc.cnes.fr/PLEIADES/Fr/PDF/iaf-01-b.1.pdf> (10.2004).
- [Bec04] BECKER, MARKUS: *USA schießen Killer-Satelliten ins All*. Spiegel Online, 16. April 2004. Spiegel Online/Spiegel.net GmbH, Deutschland, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltraum/0,1518,295954,00.html> (27.04.2004).
- [BFK⁺03] BARTON, DAVID K., ROGER W. FALCONE, DANIEL KLEPPNER, FREDERICK K. LAMB, MING K. LAU, HARVEY L. LYNCH, DAVID E. MONCTON, L. DAVID MONTAGUE, DAVID E. MOSHER, WILLIAM C. PRIEDHORSKY, MAURY TIGNER und DAVID R. VAUGHAN: *Report of the APS Study Group on Boost-Phase Intercept Systems for National Missile Defense – Scientific and Technical Issues*. Report of the APS Study Group, The American Physical Society, APS Headquarters, MD, USA, Juli 15 2003. http://www.aps.org/public_affairs/popa/reports/nmdfull-report.pdf (24.11.2003).
- [BOW01] BAKER, JOHN C., KEVIN M. O’CONNELL und RAY A. WILLIAMSON (Herausgeber): *Commercial Observation Satellites: At the Leading Edge of Global Transparency*. RAND Report, Santa Monica, USA, 2001. <http://www.rand.org/publications/MR/MR1229/> (01.12.2003).
- [BPA⁺87] BLOEMBERGEN, N., C.K.N. PATEL, P. AVIZONIS, R.G. CLEM, A. HERTZBERG, T.H. JOHNSON, T. MARSHALL, R.B. MILLER, W.E. MORROW, E.E. SALPETER, A.M. SESSLER, J.D. SULLIVAN, J.C. WYANT, A. YARIV, R.N. ZARE, A.J. GLASS, L.C. HEBEL (APS STUDY GROUP PARTICIPANTS), G.E. PAKE, M.M. MAY, W.K. PANOFSKY, A. L. SCHAWLOW, C.H. TOWNES und H. YORK (APS COUNCIL REVIEW COMMITTEE): *Report to The American Physical Society of the study group on science and technology of directed energy weapons*. Reviews of Modern Physics, 59(3):Part II, S1–S201, Juli 1987. <http://link.aps.org/abstract/RMP/v59/pS1> (10.2004).
- [BRA⁺97] BELK, CYNTHIA A., JENNIFER H. ROBINSON, MARGARET B. ALEXANDER, WILLIAM J. COOKE und STEVEN D. PAVELITZ: *Meteoroids and Orbital Debris: Effects on Spacecraft*. NASA Reference Publication 1408, National Aeronautics and Space Administration (NASA), Marshall Space Flight Center (MSFC), Alabama 35812, USA, August 1997. <http://trs.nis.nasa.gov/archive/00000391/01/rp1408.pdf>.
- [Bro98] BROWN, NEVILLE: *The Fundamental Issues Study within the British BMD Review*. Report Number: A519353, Mansfield College, Oxford, UK, Februar 1998.

- [Byr01] BYRD, SENATOR ROBERT C.: *Space Wars*. In: *Congressional Record – Proceedings and Debates of the 107th Congress, First Session*, Congressional Record, Volume 147, Number 127, Seiten S9826–S9828. The U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20401, USA, September 26 2001. [\(07.2004\)](http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getpage.cgi?dbname=2001_record&page=S9826&position=all ff).
- [CAS04] CAS, COMMITTEE ON ARMED SERVICES, UNITED STATES SENATE: *Senate Rpt.108-260 - National Defense Authorization Act For Fiscal Year 2005*. Report 108-260, The Library of Congress – THOMAS Legislative Information, Washington, USA, Mai 11 2004. http://thomas.loc.gov/cgi-bin/cpquery/?&db_id=cp108&r_n=sr260.108&sel=TOC_422494& (07.2004).
- [CCE+05] COLLARD-WEXLER, SIMON, JESSY COWAN-SHARP, SARAH ESTABROOKS, THOMAS GRAHAM JR., ROBERT LAESON und WILLIAM MARSHALL: *Space Security 2004*. Report, Space Security.org, Waterloo, ON, Kanada, 2005. ISBN 0-920231-35-7.
- [CCS85] CHAYES, ABRAM, ANTONIA H. CHAYES und ELIOT SPITZER: *Space Weapons*. In: GRAUBARD, STEPHEN R. (Herausgeber): *Daedalus, Weapons in Space, Volume II: Implications for Security*, Seiten 193–218. American Academy of Arts & Sciences, Boston, MA, USA, 1985. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA now publishes Daedalus for the American Academy of Arts & Sciences.
- [CD01] CD: *Letter dated 5 June 2001 from the Permanent Representative of China addressed to the Secretary General of the Conference on Disarmament transmitting a working paper entitled „Possible Elements of the Future International Legal Instrument on the Prevention of the weaponization of Outer Space“*. Report CD/1645, GE.01-62244, Conference on Disarmament, Vienna, Austria, 6 Juni 2001. <http://cns.miis.edu/research/space/pdf/1645.pdf> (Jul. 04).
- [CD02] CD: *Letter dated 27 June 2002 from the Permanent Representative of the People’s Republic of China and the Permanent Representative of the Russian Federation to the Conference on Disarmament addressed to the Secretary General of the Conference transmitting the chinese, english and russian texts of a working paper entitled „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“*. Report CD/1679, GE.02-42978, Conference on Disarmament, Vienna, Austria, 28 Juni 2002. <http://cns.miis.edu/research/space/pdf/1679.pdf> (Jul. 04).
- [CGA92] CLEMINSON, F. und P. GASPARINI ALVES: *Space Weapons Verification: A Brief Appraisal*. In: SUR, SERGE (Herausgeber): *Verification of Disarmament or Limitation of Armaments: Instruments, Negotiations, Proposals*, Seiten 177–206. United Nations Institute for Disarmament (UNIDIR), New York, USA, Februar 1992. United Nations sales number: GV.E.92.0.10.
- [CHE03] *European co-operation in the armaments: constructing a successful future – how to seize the opportunity of the enlargement of europe and the new transatlantic context*. 15ème Session Européenne des Responsables d’Armement (SERA 15), DGA/CHEAr, Centre des Hautes Études de l’Armement, École Militaire, 21, Place

- Joffre – 75007 Paris, F, March – June 2003. http://www.chear.defense.gouv.fr/fr/think_tank/archives/cahiers/sera/sera_15/rsr15.pdf (13.5.04).
- [Chr04] CHRISTIE, THOMAS P.: *Missile Defense*. Statement before the Senate Armed Services Committee, Director Operational Test and Evaluation, U.S. Senate Committee on Armed Services, Washington D.C., USA, März 11 2004. http://www.senate.gov/~armed_services/statemnt/2004/March/Christie.pdf (Sep. 2004).
- [Coh01] COHEN, WILLIAM S.: *2001 Annual Defense Report*. Annual Report to the President and the Congress, Department of Defense, Office of the Executive Secretary, U.S. Government Printing Office, Superintendent of Documents, Mail Stop: SSOP, Washington, D.C. 20402-9328, USA, Januar 2001. <http://www.defenselink.mil/execsec/adr2001/adr2001.pdf> (Juni 2004).
- [Coy00] COYLE, PHILIP E.: *Report in Support of National Missile Defense Deployment Readiness Review*. Report, Director Operational Test and Evaluation, Department of Defense, Office of the Executive Secretary, August 2000. <http://www.cdi.org/missile-defense/coyle-report.pdf> (Sep. 2004).
- [CR01] COYLE, PHILIP E. und JOHN RHINELANDER: *National Missile Defense and the ABM Treaty: No Need to Wreck the Accord*. World Policy Journal, 18(3):15–22, 2001.
- [CR02] COYLE, PHILIP E. und JOHN RHINELANDER: *Drawing the Line: the Path to Controlling Weapons in Space*. Disarmament Diplomacy, (66), September 2002. www.acronym.org.uk/dd/dd66/66op1.htm (07.2004).
- [CRP02] *Possible Elements of a Space Weapons Treaty – Joint Working Paper by the Delegation of China and the Russian Federation*. In: SCHEFFRAN, JÜRGEN und REGINA HAGEN [SH02], Seiten 34–35.
- [CSP00] *China's Space Activities – a White Paper*. Report, The Information Office of the State Council, Beijing, China, 22 November 2000. <http://www.spaceref.com/china/china.white.paper.nov.22.2000.html> (12.08.04).
- [Cun89] CUNNIFFE, P.E.: *Using satellites for arms control verification: Remoting monitoring of cruise missiles*. Report, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, Massachusetts, USA, 1989.
- [D+04] DONNIO, JEAN-PHILIPPE und OTHERS: *The Satellite Encyclopedia – Online*. Web-Site, Tag's Broadcasting Services, Suite 214, BP 237, 14012 CAEN cedex 1, France, 1996 – 2004. <http://www.TBS-satellite.com/tse/online/> (Juli 2004).
- [DGKM04] DEBLOIS, BRUCE M., RICHARD L. GARWIN, R. SCOTT KEMP und JEREMY C. MAXWELL: *Space Weapons. Crossing the U.S. Rubicon*. International Security, 29(2):50–84, Fall 2004. <http://www.fas.org/rlg/041100-rubicon.pdf> (19.08.05).
- [DLL98] DAY, DWAYNE A., JOHN M. LOGDON und BRIAN LATELL (Herausgeber): *Eye in the Sky: The Story of the Corona Spy Satellites*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C., USA, August 1998. ISBN 1-56098-773-1.

- [DoC94] DEPARTMENT OF COMMERCE, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, Washington, D.C., USA: *Application to Operate a Commercial Land Observation System*, März 1994.
- [DoD99] DEPARTMENT OF DEFENSE, Washington, USA: *DoD Directive 3100.10, „Space Policy“*, Juli 9 1999. <http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/310010-070999/d310010p.pdf> (06.2004).
- [DoD00] DEPARTMENT OF DEFENSE, Washington, USA: *Kosovo After Action Report, Report to Congress: Kosovo/Operation Allied Force After Action Report*, Januar 31 2000.
- [DoD01] DEPARTMENT OF DEFENSE, Washington, USA: *Quadrennial Defense Review Report*, 30 September 2001. <http://www.defenselink.mil/pubs/qdr2001.pdf> (03.06.03).
- [DoD02a] *Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Roadmap 2002-2027*. Report, Department of Defense – Office of the Secretary of Defense (Acquisition, Technology & Logistics), Air Warfare, Washington, DC 20301, USA, Dezember 2002. released 11.03.2003, <http://www.defenselink.mil/c3i/org/c3is/uavr1202.pdf> (03.06.03).
- [DoD02b] MISSILE DEFENSE AGENCY, DEPARTMENT OF DEFENSE, UNITED STATES OF AMERICA, RESEARCH, DEVELOPMENT, TEST AND EVALUATION, DEFENSE-WIDE, Washington, USA: *FY 2003 Budget Estimate, Volume 2*, Februar 2002. http://www.dtic.mil/comptroller/fy2003budget/budget_justification/pdfs/rdtande/mda_rdte_vol2.pdf (Jan. 2003).
- [DoD04] MISSILE DEFENSE AGENCY, DEPARTMENT OF DEFENSE, UNITED STATES OF AMERICA, RESEARCH, DEVELOPMENT, TEST AND EVALUATION, DEFENSE-WIDE, Washington, USA: *MDA Exhibit R-2 RDT&E Budget Item Justification*, Februar 2004. <http://www.dtic.mil/descriptivesum/Y2005/MDA/0603886C.pdf> (05.2004).
- [Dre91] DREWNIOK, CHRISTIAN: *Der Einsatz von Satelliten zur Erdbeobachtung*. CENSIS-Report-3-91, Arbeitsgruppe Naturwissenschaft und Internationale Sicherheit in der Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland, Dezember 1991.
- [dS02] SELDING, PETER B. DE: *Five European Defense Forces Sign Joint Working Document*. Space News, Space.com Inc., 21 Juni 2002. http://redesign.dev.space.com/spacenews/militaryspace/five_european_020704.html (13.5.04).
- [DS04] DOLMAN, EVERETT C. und JOHN B. SHELDON (Herausgeber): *Astropolitics – Special Issue: Ensuring Security in Space: Enhancing Stakeholder Cooperation*, Band 2, Nr. 2. Frank Cass, Taylor & Francis Group, Philadelphia, PA19106, USA, 2004. ISSN: 1477-7622.
- [DTR01] *High Altitude Nuclear Detonations (HAND) Against Low Earth Orbit Satellites („HALEOS“)*. Report, Defense Threat Reduction Agency – Advanced Systems and Concepts Office, 8725 John J. Kingman Road, MSC 6201, Fort Belvoir, Virginia 22060-6201, USA (Headquarters Complex), April 2001. <http://www.dtra.mil/about/organization/haleos.pdf> (Juni 2004).

- [Dyn03] DYN0 NOBEL [COMPANY], Sydney, Australia (Headquarter: Oslo, Norway): *Bulk Product Technical Data Sheet*, 2003. <http://www.dynonobel.com/dynonobelcom/en/asiapacific/products/downloads/> (Mai 2004).
- [ESA03] *Agenda 2007 – A Document to the ESA Director General*. Report BR-213, European Space Agency (ESA), Paris, France, Oktober 2003. <http://esamultimedia.esa.int/docs/BR-213.pdf>.
- [EU00a] *Europe and Space: Turning to a new Chapter*. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, Kommission der Europäischen Union, Brussels, Belgium, 27 September 2000.
- [EU00b] *Joint ESA/EC Document on a European Strategy for Space*. Annex II to the Report „Towards A Space Agency for the European Union“ [EU00c], European Commission and European Space Agency, Brussels, Belgium, 27 September 2000.
- [EU00c] *Towards A Space Agency for the European Union*. Report by Carl Bildt, Jean Peyrelevade, Lothar Späth to the ESA Director General, European Commission, Brussels, Belgium, 27 September 2000.
- [EU01] *A joint European space strategy: security and defence aspects*. Document A/1738, Assembly of Western European Union (WEU), Paris, France, 20 Juni 2001.
- [EU02a] *European Parliament resolution on the Commission communication to the Council and the European Parliament on Europe and Space: Turning to a new chapter*. European Parliament resolution COM(2000) 597 - C5-0146/2001 - 2001/2072(COS), European Parliament, Brussels, Belgium, 17. Januar 2002.
- [EU02b] *Star 21, Strategic Aerospace Review for the 21st Century – Creating a coherent market and policy framework for a vital European industry*. Report, Kommission der Europäischen Union, Brussels, Belgium, Juli 2002.
- [EU03a] *Ein kohärenter Rahmen für die Luft- und Raumfahrt – Reaktion auf den Bericht STAR 21*. Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen KOM(2003) 600 endgültig, Kommission der Europäischen Union, Brüssel, Belgien, 13 Oktober 2003.
- [EU03b] *Framework Agreement Between The European Community And The European Space Agency*. 12858/03 RECH 152 OC 589, European Community, Brussels, Belgium, 25 November 2003.
- [EU03c] *Green Paper European Space Policy*. Report COM(2003) 17 final, Kommission der Europäischen Union, Brussels, Belgium, 21 Januar 2003. http://europa.eu.int/comm/space/doc_pdf/greenpaper_en.pdf (09.2003).
- [EU03d] *WHITEPAPER Space: a new European frontier for an expanding Union – An action plan for implementing the European Space policy*. Report COM(2003) 673, Kommission der Europäischen Union, Brussels, Belgium, 11 November 2003. http://www.globalsecurity.org/space/library/policy/int/eu_white-paper_nov2003.pdf (Nov. 2003).

- [EU04] *Global Monitoring for Environment and Security (GMES): Establishing a GMES capacity by 2008 – (Action Plan (2004-2008))*. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council COM(2004) 65 final, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium, 3. Februar 2004. http://www.gmes.info/library/files/Reference%20Documents/com2004_0065en01.pdf (13.05.2004).
- [FAA98] FEDERAL AVIATION AGENCY, FAA, Associate Administrator for Commercial Space Transportation (AST), 800 Independence Avenue, S.W., Washington, DC 20591, USA: *Commercial Space Transportation: 1997 Year In Review*, Januar 1998. <http://ast.faa.gov/files/pdf/1997yir.pdf> (Nov. 03).
- [FAA99] FEDERAL AVIATION AGENCY, FAA, Associate Administrator for Commercial Space Transportation (AST), 800 Independence Avenue, S.W., Washington, DC 20591, USA: *Commercial Space Transportation: 1998 Year In Review*, Januar 1999. <http://ast.faa.gov/files/pdf/1998yir.pdf> (Nov. 03).
- [FAA00] FEDERAL AVIATION AGENCY, FAA, Associate Administrator for Commercial Space Transportation (AST), 800 Independence Avenue, S.W., Washington, DC 20591, USA: *Commercial Space Transportation: 1999 Year In Review*, Januar 2000. <http://ast.faa.gov/files/pdf/1999yir.pdf> (Nov. 03).
- [FAA01] FEDERAL AVIATION AGENCY, FAA, Associate Administrator for Commercial Space Transportation (AST), 800 Independence Avenue, S.W., Washington, DC 20591, USA: *Commercial Space Transportation: 2000 Year In Review*, Januar 2001. http://ast.faa.gov/files/pdf/YIR_00.pdf (Nov. 03).
- [FAA02] FEDERAL AVIATION AGENCY, FAA, Associate Administrator for Commercial Space Transportation (AST), 800 Independence Avenue, S.W., Washington, DC 20591, USA: *Commercial Space Transportation: 2001 Year In Review*, Januar 2002. <http://ast.faa.gov/files/pdf/2k1ASTYIR.pdf> (Nov. 03).
- [FAA03] FEDERAL AVIATION AGENCY, FAA, Associate Administrator for Commercial Space Transportation (AST), 800 Independence Avenue, S.W., Washington, DC 20591, USA: *Commercial Space Transportation: 2002 Year In Review*, Januar 2003. <http://ast.faa.gov/files/pdf/2002yir.pdf> (Nov. 03).
- [Fis84] FISCHER, HORST: *Völkerrechtliche Schranken der Weltraumrüstung*. In: LABUSCH, REINER et al. [LMS84], Seiten 154–167. ISBN 3-570-06681-9.
- [FKJL03] FLURY, W., H. KLINKRAD, R. JEHN und M. LANDGRAF: *The Space Debris Problem*. Presentation to the International Bar Association – Committee Z, Sept. 16, San Francisco, USA., European Space Agency (ESA), 16 September 2003. private copy.
- [GA91] GASPARINI ALVES, PÉRICLES: *Prevention of an Arms Race in Outer Space. A Guide to the Discussions in the Conference on Disarmament*. United Nations Institute for Disarmament (UNIDIR), New York, USA, Oktober 1991. United Nations sales number: GV.E.91.0.17.

- [GAO04] GENERAL ACCOUNTING OFFICE, UNITED STATES: *Defense Acquisitions: Risks Posed by DoD's New Space Systems Acquisition Policy*. Report to Congressional Committees GAO-04-379R, GAO, Washington, D.C., USA, Januar 29 2004. <http://www.gao.gov/atext/d04379r.txt> (04.2004).
- [Gar00] GARWIN, RICHARD L.: *Space Weapons or Space Arms Control*. In: *American Philosophical Society Annual General Meeting in the symposium: Ballistic Missile Defense, Space, and the Danger of Nuclear War*, 2000. www.aps-pub.com/star_wars/garwin.pdf.
- [Ger04] GERL, BERNHARD: *Die Erlebnis-Schüssel*. Spektrum der Wissenschaft, Seiten 40–41, Juli 2004. Spektrum der Wissenschaft, Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg, Deutschland.
- [Gio04] GIOTAKI, MARINA ANTONELLA: *Europäische Satellitenkapazitäten und konfliktrelevantes Monitoring*. Masterarbeit im Studiengang „Master of Peace and Security Policy Studies (M.P.S)/Friedensforschung und Sicherheitspolitik“, Universität Hamburg (UHH) und Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg (IFSH), Hamburg, Deutschland, Juni 2004.
- [GJKW01] GLEBOCKI, M., M. JACUBOWSKI, B.W. KUBBIG und A. WICKER: *Raketenabwehrpläne in historischer Perspektive – Variationen über ein Thema amerikanischer Politik*. Die Friedens-Warte (Journal of International Peace and Organization), 76(4):361–389, 2001. BMV - Berliner Wissenschafts-Verlag GmbH, Axel-Springer-Str. 54 b, D-10117 Berlin.
- [GKD99] GRAHAM, G.A., A.T. KEARSLY und G. DROLSHAGEN: *Study of Smaller Impact Craters on HST Solar Cells*, Band 9 No. 3 der Reihe *ESA Preparing For the Future*, Seiten 4–5. ESA Publications Division, ESTEC, P.O. Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands, Dezember 1999. <http://esapub.esrin.esa.it/pff/pffv9n3/pffv9n3.pdf> (10.2004).
- [GL02] GRONLUND, LISBETH und GEORGE N. LEWIS: *An Assessment of the Missile Defense Agency's 'Endgame Success' Argument*. Working Paper, Union of Concerned Scientists (UCS), UCS Publications, 2 Brattle Square, Cambridge, MA 02238-9105, USA, Dezember 2002. http://www.ucsusa.org/global_security/missile_defense/page.cfm?pageID=1066 (Sep. 2002).
- [Glo02] GLOBALSECURITY.ORG, Alexandria, VA 22314, USA: *Nuclear Posture Review [Excerpts]*, 2002. <http://www.globalsecurity.org/wmd/library/policy/dod/npr.htm> (07.2004).
- [Gra03] GRAMS, CHRISTOPH: *Das Mittlere Erweiterte Luftverteidigungssystem MEADS – Geschichte, Idee, Realisierung*. Schriftenreihe „Strategische Analysen“ des Instituts für Strategische Analysen e.V. (ISA). ISA Report Verlag, Postfach 11 02 62, Frankfurt a.M./Bonn, 2003. ISBN: 3-9323385-14-4.
- [Gra04] GRAHAM, BRADLEY: *Some Question Report On Chinese Space Arms*. Washington Post, Seite A14, August 14 2004. Washington, D.C., USA.

- [GWLC04] GRONLUND, LISBETH, DAVID C. WRIGHT, GEORGE N. LEWIS und PHILIP E. COYLE III: *Technical Realities – An Analysis of the 2004 Deployment of a U.S. National Missile Defense System*. Report, Union of Concerned Scientists (UCS), UCS Publications, 2 Brattle Square, Cambridge, MA 02238-9105, USA, Mai 2004. www.ucsusa.org/publications/report.cfm?publicationID=848 (27.05.2004) or www.ucsusa.org/documents/technicalrealities_fullreport.pdf (27.05.2004).
- [Had04] HADZIC, ERMIN: *Die Technik von Navigationssystemen und die politischen Auswirkungen des europäischen Galileo-Systems*. Masterarbeit im Studiengang „Master of Peace and Security Policy Studies (M.P.S)/Friedensforschung und Sicherheitspolitik“, Universität Hamburg (UHH) und Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg (IFSH), Hamburg, Deutschland, Juni 2004.
- [Har05] HARDESTY, DAVID C.: *Space-Based Weapons. Long-Term Strategic Implications and Alternatives*. *Naval War College Review*, 58(2):45–68, Spring 2005.
- [Hit03] HITCHENS, T.: *Monsters and shadows: left unchecked, American fears regarding threats to space assets will drive weaponization*. In: *UNIDIR* [UNI03], Seiten 15–32. <http://www.unidir.org/pdf/articles/pdf-art1884.pdf> (Feb. 03).
- [Hit05] HITCHENS, THERESA: *U.S. Military Space Policy and Strategy*, September 14 2005. Presentation to the e-Parliament Conference on Space Security.
- [HKLS05] HITCHENS, T., M. KATZ-HYMAN, J. LEWIS und V. SAMSON: *Space Weapons Spending in the Fiscal Year 2006 President’s Request: A Preliminary Assessment*, Februar 10 2005. <http://www.cdi.org/PDFs/FY06SpaceSpending.pdf>.
- [HLS04] *Model Code of Conduct for the Prevention of Incidents and Dangerous Military Practices in Outer Space*. Report, The Henry L. Stimson Center, 11 Dupont Circle, NW Ninth Floor Washington, DC 20036, USA, 2004. <http://www.stimson.org/wos/pdf/codeofconduct.pdf> (August 2004).
- [HN98] HALL, R. CARGILL und JACOB NEUFELD (Herausgeber): *The U.S. Air Force in Space: 1945 to the 21st Century: Proceedings of the Air Force Foundation Symposium, Andrews AFB, Maryland, September 21–22, 1995*. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., USA, 1. September 1998. ISBN: 0-16-049666-7.
- [HR80] HOOTS, FELIX R. und RONALD L. ROEHRICH: *Models for Propagation of NO-RAD Element Sets*. Projekt Space Track Report No. 3, Aerospace Defense Command, Peterson AFB, CO., USA, Dezember 1980. <http://www.celestrak.com/NORAD/documentation/spacetrk.pdf> (07.2004).
- [HS99] HAGEN, REGINA und JÜRGEN SCHEFFRAN: *Weltraumnutzung und Ethik*, Seiten 64–67. *Wissenschaft & Frieden*, Heft 2/99. Bund demokratischer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler (BdWi-Verlag), Marburg, Deutschland, 1999.
- [HS03a] HAGEN, REGINA und JÜRGEN SCHEFFRAN: *Is a space weapons ban feasible? Thoughts on technology and verification of arms control in space*. In: *UNIDIR* [UNI03], Seiten 41–51. <http://www.unidir.org/pdf/articles/pdf-art1886.pdf> (Feb. 03).

- [HS03b] HITCHENS, THERESA und VICTORIA SAMSON: *Technical Hurdles in U.S. Missile Defense Agency Programs*. In: MOLTZ, JAMES CLAY (Herausgeber): *New Challenges in Missile Proliferation, Missile Defense and Space Security*, Nummer 12 in *Center for Nonproliferation Studies Occasional Papers*. Center for Nonproliferation Studies (CNS), Monterey, CA 93940, USA, August 2003. <http://cns.miis.edu/pubs/opapers/op12/index.htm> (Sep. 2004).
- [Hu02] HU, XIAODI: *Chinese Statement on Joint Working Paper*. In: SCHEFFRAN, JÜRGEN und REGINA HAGEN [SH02], Seite 37.
- [IAI03] *International Report On Space And Security Policy In Europe*. Executive Summary, Istituto Affari Internazionali, Rome, Italy, Oktober 2003. <http://esamultimedia.esa.int/docs/SpaceSecurityExecutiveSummaryFinalIAI.doc> (13.05.04).
- [IAS05] *Policy and Legislative Options for Parliamentarians Regarding Possible Deployment of Further Military Capabilities in Outer Space*. Working paper, Institute of Air and Space Law, Faculty of Law, McGill University, Montreal/Canada, Juni 2005.
- [Ill04] ILLINGER, PATRICK: *Bürokratie führt nicht zum Mond – US-Präsidentenkommission fordert massiven Umbau der Nasa*. *Süddeutsche Zeitung*, (137):11, 17. Juni 2004. München, Deutschland.
- [Jas91] JASANI, BHUPENDRA (Herausgeber): *Outer Space: A Source of Conflict or Co-operation?* United Nations University Press, Tokio, Japan, 1991. Published in co-operation with the Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI).
- [JAV01] *Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure relying on the Global Positioning System*. Final Report, prepared for Office of the Assistant Secretary for Transportation Policy, U.S. Department of Transportation, John A. Volpe National Transportation System Center, August 2001. <http://www.navcen.uscg.gov/archive/2001/Oct/FinalReport-v4.6.pdf> (30.6.04).
- [Jav02] JAVITS, ERIC M.: *US Statement on Joint Working Paper*. In: SCHEFFRAN, JÜRGEN und REGINA HAGEN [SH02], Seite 38.
- [JF04] JOHNSON-FREESE, JOAN: *o.T.* Contribution to the Fourth European Space Policy Workshop „Enlarging the Space Policy Debate“, 4 February 2004, Leuven/Belgium, Department on National Security Decision Making at the Naval War College, 16 September 2004. http://europa.eu.int/comm/space/articles/news/news96_en.html (19.04.2004); <http://www.eurospacepolicy.org/espw4.htm> (20.08.2004).
- [JH91] JASANI, B. und D. HAFNER: *The Case of a Limited ASAT Treaty*. In: JASANI, BHUPENDRA [Jas91], Seiten 226–240.
- [Joh01] JOHNSON, REBECCA: *Multilateral Approaches to Preventing the Weaponisation of Space*. *Disarmament Diplomacy*, (56):8–15, 2001. <http://www.acronym.org.uk/textonly/dd/dd56/56rej.htm> (Sep. 03).

- [JS02] *Joint Doctrine for Space Operations*. Report, United States Space Command, Joint Staff, JP-7, Joint Doctrine Division Support Group, August 9 2002. http://www.dtic.mil/doctrine/jel/new_pubs/jp3_14.pdf (06.2004).
- [JS04] *National Military Strategy. Shape, Respond, Prepare Now – A Military Strategy for a New Era*. Report, United States Joint Chiefs of Staff, Washington, D.C., USA, 2004. <http://www.dtic.mil/jcs/core/nms.html> (14.08.2004).
- [KAM01] KESSLER, DONALD J. und PHILIP D. ANZ-MEADOR: *Critical number of spacecraft in Low Earth Orbit: using satellite fragmentation data to evaluate the stability of the orbital debris environment*. In: SAWAYA-LACOSTE, HUGUETTE [SL01], Seiten 265–272.
- [Ken02] KENYON, IAN: *Space Preservation Treaty*. In: SCHEFFRAN, JÜRGEN und REGINA HAGEN [SH02], Seiten 46–47.
- [KG85] KINNEY, GILBERT F. und KENNETH J. GRAHAM: *Explosive Shocks in Air*. Springer, Berlin etc., 1985. ISBN 0-387-15147-9.
- [Kli03] KLINKRAD, HEINER (Herausgeber): *ESA Space Debris Mitigation Handbook*. European Space Agency, Darmstadt, 2nd Auflage, März 3, 2003. Issue 1.0.
- [KN02] KARÁDI, MATTHIAS und GÖTZ NEUNECK: *Prevention of an Arms Race in Outer Space*. In: SCHEFFRAN, JÜRGEN und REGINA HAGEN (Herausgeber): *The Axe of Evil Against Arms Control*, Nummer 19 in *INESAP Information Bulletin*, Seiten 83–84. International Network of Engineers and Scientists Against Proliferation (INESAP), Darmstadt, März 2002. <http://www.inesap.org/bulletin19/bul19art31.htm> (07.2004).
- [Koh04] KOHORST, PIA: *Europäische Weltraumpolitik und Sicherheitsstrategie im Kontext der US-amerikanischen Weltraumstrategie*. Masterarbeit im Studiengang „Master of Peace and Security Policy Studies (M.P.S)/Friedensforschung und Sicherheitspolitik“, Universität Hamburg (UHH) und Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg (IFSH), Hamburg, Deutschland, Juni 2004.
- [KOK01] KRISKO, PAULA H., JOHN N. OPIELA und DONALD J. KESSLER: *The Critical Density Theory in LEO as Analyzed by EVOLVE 4.0*. In: SAWAYA-LACOSTE, HUGUETTE [SL01], Seiten 273–278.
- [Lal04] LALLANILLA, MARC: *Shooting Stars – U.S. Military Takes First Step Towards Weapons in Space*. ABC News, November 12 (March 30) 2004. ©2005 ABC News Internet Ventures, USA, <http://abcnews.go.com/Health/print?id=165290> (19.8.05).
- [LC04] LEWIS, JEFFREY und JESSY COWAN: *Space Weapon Related Programs in the FY 2005 Budget Request*. Center for Defense Information (CDI), 1779 Massachusetts Ave, NW, Washington, D.C. 20036-2109, USA, 2004. <http://www.cdi.org/news/space-security/SpaceWeaponsFY05.pdf> (31.03.04).
- [Lew04] LEWIS, JEFFREY: *Near Field Infrared Experiment (NFIRE) Currently Scheduled to Launch in Early 2006*. Briefing Paper, University of Maryland, MD., USA, Juni 2004.

- [Lex03] LEXINGTON INSTITUTE: *Directed-Energy Weapons – Technologies, Applications and Implications*. White Paper – Directed-Energy Program, Lexington Institute, 1600 Wilson Boulevard, Suit 900, Arlington, Virginia 22209, USA), Alabama 35812, USA, Februar 2003. <http://www.lexingtoninstitute.org/defense/DirectEngery.pdf> (03.2003).
- [LMAM⁺02] LIU, JER-CHYI, MARK J. MATNEY, PHILIP D. ANZ-MEADOR, DONALD KESSLER, MARK JANSEN und JEFFREY R. THEALL: *The New NASA Orbital Debris Engineering Model ORDEM2000*. NASA Technical Publication 2002-210780, National Aeronautics and Space Administration (NASA), Johnson Space Flight Center (JSFC), Houston, Texas 77058-3696, USA, Mai 2002. <http://techreports.larc.nasa.gov/cgi-bin/NTRS>.
- [LMS84] LABUSCH, REINER, ECKART MAUS und WOLFGANG SEND (Herausgeber): *Welt-raum ohne Waffen*. C. Bertelsmann Verlag GmbH, München, Deutschland, 1984. ISBN 3-570-06681-9.
- [LOC01] *Bill Summary & Status for the 107th Congress*. H.R.2977, The Library of Congress – THOMAS Legislative Information, 101 Independence Ave, SE, Washington, DC. 20540, USA, 2001. <http://thomas.loc.gov/cgi-bin/bdquery/D?d107:2:./temp/~bdhDS4::|/bss/d107query.html> (07.2004).
- [LOC04] *Bill Summary & Status for the 108th Congress*. H.R.3657, Bill Status, The Library of Congress – THOMAS Legislative Information, 101 Independence Ave, SE, Washington, DC. 20540, USA, 2004. <http://thomas.loc.gov/cgi-bin/bdquery/D?d108:4:./temp/~bdELdg:@@@X|/bss/d108query.html> (07.2004).
- [LRP98] US SPACE COMMAND, Peterson AFB, CO 80914-3113, USA: *Long Range Plan – Implementing USSPACECOM Vision for 2020*, April 1998. <http://www.fas.org/spp/military/docops/usspac/lrp/toc.htm> (07.2004).
- [MDA02] *Fact Sheet – Kinetic Energy*. MDA Fact Sheet, Missile Defense Agency (MDA), External Affairs, 7100 Defense Pentagon, Washington, D.C. 20301-7100, USA, März 2002. <http://www.acq.osd.mil/bmdo/bmdolink/pdf/kinetic.pdf> (03.2003).
- [Mie74] MIELKE, HEINZ: *Raumflugtechnik – Eine Einführung*. transpress VEB für Verlagswesen, Berlin, Deutsche Demokratische Republik (DDR), 1974. VLN 162-925/72/74, LSV 3877.
- [MJ04] MAHONE, GLENN und BOB JACOBS: *NASA Administrator Shares Appreciation For Presidential Commission*. NASA News, National Aeronautics and Space Administration, Headquarters, Washington, D.C., USA, Juni 16 2004. http://www.nasa.gov/home/hqnews/2004/jun/HQ_04095_okeefe_statement_commission_report.html (31.08.2004).
- [MLF⁺02] MEHRHOLZ, D., L. LEUSHACKE, W. FLURY, R. JEHN, H. KLINKRAD und M. LANDGRAF: *Detecting, Tracking and Imaging Space Debris*. ESA Bulletin, 109:124–138, Februar 2002. <http://esapub.esrin.esa.it/bulletin/bullet109/mehrholz.pdf> (Jan. 2003).

- [Mol01] MOLTZ, JAMES CLAY: *Space Arms Control and the International Missile Defense Debate*. In: *Missile Proliferation and Defences: Problems and Prospects*, Nummer 7 in *Occasional Paper*, Seiten 88–95. Center for Nonproliferation Studies (CNS), Monterey, CA, USA, Mai 2001. <http://cns.miis.edu/pubs/opapers/op7/op7.pdf> (07.04).
- [Mol02] MOLTZ, JAMES CLAY: *Breaking the Deadlock on Space Arms Control*. *Arms Control Today*, Apr 2002. http://www.armscontrol.org/act/2002_04/moltzapril02.asp (11.11.03).
- [Mon01] MONTENBRUCK, OLIVER: *Grundlagen der Ephemeridenrechnung*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Deutschland, 2001. ASIN/ISBN-Nummer: 3827413117.
- [MP99] MONTENBRUCK, OLIVER und THOMAS M. PFLEGER: *Astronomie mit dem Personal Computer*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Deutschland, 2. September 1999.
- [MR04] MICHAELSEN, BJÖRN und ANDRÉ ROTHKIRCH: *Modellierung von Raketenreichweiten unter ABL-Einsatz*. Beitrag zur Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), München, Deutschland, 25 März 2004.
- [MRN04] MICHAELSEN, BJÖRN, ANDRÉ ROTHKIRCH und GÖTZ NEUNECK: *Airborne Laser Deployment in Europe*. Working Paper, Institute for Peace Research and Security Policy at the University of Hamburg (IFSH), Interdisciplinary Research Group on Arms Control & Disarmament (IFAR), Hamburg, 2004. (in preparation).
- [Mül96] MÜLLER, HARALD: *Von der Feindschaft zur Sicherheitsgemeinschaft – Eine neue Konzeption der Rüstungskontrolle*. In: MEYER, BERTHOLD (Herausgeber): *Eine Welt oder Chaos?*, Seiten 399–426. Suhrkamp, Frankfurt a. M., D, 1996.
- [Nar02] NARDON, LAURENCE: *Satellite Imagery Control: An American Dilemma*. Centre Francais sur les États-Unis, Ifri - 27, rue de la Procession, F - 75740 Paris Cedex 15, März 2002. ISBN 2-86592-109-3, http://www.csis.org/nardon_ang.pdf (07.2003).
- [NAS95] NASA: *NASA Safety Standard: Guidelines and Assessment Procedures for Limiting Orbital Debris*. Technischer Bericht, National Aeronautics and Space Administration (NASA), Office of Safety and Mission Assurance, Washington, D.C., 20546, USA, August 1995. http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/1740_14.pdf (Feb. 2002).
- [NDA96] PUBLIC LAW 104-201, Washington, D.C., USA: *National Defense Authorization Act for Fiscal Year 1997*, September 1996. <http://www.nps.gov/legal/laws/104th/104-201.pdf> (03.07.03).
- [NDA03] PUBLIC LAW 108-136–24, Washington, D.C., USA: *National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2004*, November 2003. <http://www.celestrak.com/Norad/elements/Section913.pdf> (07.2004).

- [Neu01] NEUNECK, GÖTZ: *Von National Missile Defense zu Global Missile Defense? Technische Machbarkeit und Ansätze der Bush-Administration*. Die Friedens-Warte (Journal of International Peace and Organization), 76(4):391–434, 2001. BMV - Berliner Wissenschafts-Verlag GmbH, Axel-Springer-Str. 54 b, D-10117 Berlin.
- [NIE99] *Foreign Missile Developments and the Ballistic Missile Threat to the United States Through 2015*. Unclassified Summary of the Intelligence Community's 1999 National Intelligence Estimate, National Intelligence Council, September 1999. http://www.fas.org/spp/starwars/congress/1999_h/s106-339-8.htm (Sep. 2004).
- [NKR02] NEUNECK, G., M. KARÁDI und A. ROTHKIRCH: *Die militärische Nutzung des Weltraums und Möglichkeiten für präventive Rüstungskontrolle im Weltraum*. Gutachten für das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg (IFSH), D-22587 Hamburg, September 2002. (in Auszügen veröffentlicht in [PCG03]).
- [NM00] NEUNECK, GÖTZ und REINHARD MUTZ (Herausgeber): *Vorbeugende Rüstungskontrolle*. NOMOS Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, Deutschland, 2000.
- [NOA76] NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, Washington, D.C., USA: *US Standard Atmosphere (1976)*, Oktober 1976. NOAA-S/T 76-1562, 227 pp. [Available from US Government Printing Office, Washington, DC 20402, USA.].
- [NR04] NEUNECK, GÖTZ und ANDRÉ ROTHKIRCH: *Space as a new medium of warfare? – Motivations, technology and consequences*. In: FOGELBERG, PAUL (Herausgeber): *Changing Threats to Global Security: Peace or Turmoil – Proceedings of the XV Amaldi Conference, Helsinki, 25.–27. September 2003*, Seiten 163–189. Delegation of the Finnish Academies of Science and Letters; Finnish Institute of International Affairs, Helsinki, FI, 2004. ISBN 951-769-161-0.
- [O'H04] O'HANLON, MICHAEL: *Neither Star Wars nor Sanctuary – Constraining the Military Uses of Space*. Brookings Institution Press, 1775 Massachusetts Avenue, N.W., Washington, DC 20036, USA, 2004. ISBN: 0-8157-6457-X.
- [OHB03] OHB SYSTEM AG: *SAR-Lupe – Das innovative Programm zur satellitengestützten Radaraufklärung*. Informationsbroschüre, OHB System AG, Universitätsallee 27-29, 28359 Bremen, Deutschland, 30. Juni 2003. <http://www.ohb-system.de/dt/pdf/sar-lupe-broschure.pdf> (März 2004).
- [OTA84] *Arms Control in Space: Workshop Proceedings*. Report OTA-BP-ISC-28, Office of Technology Assessment (OTA), Washington D.C.: U.S. Congress, USA, Mai 1984. <http://www.wws.princeton.edu/cgi-bin/byteserv.prl/~ota/disk3/1984/8404/8404.PDF> (Jul. 2004).
- [Pap02] PAPADOPOULOS, DENNIS: *Satellite Threat due to High Altitude Nuclear Detonations*. Presentation to Congressional Staff, sponsored by the Center for Nonproliferation Studies at the Monterey Institute of International Studies, 24 July 2002, Physics Department, University of Maryland, 2002. <http://www.lightwatcher.com/chemtrails/Papadopoulos-chemtrails.pdf> (06.02.04).

- [PCG03] PETERMANN, THOMAS, CHRISTOPHER COENEN und REINHARD GRÜNWARD: *Aufrüstung im All – Technologische Optionen und politische Kontrolle*. Nummer 16 in *Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)*. Edition Sigma, Berlin, Deutschland, 2003. ISBN 3-89404-825-5.
- [Pet03] PETRIE, GORDON: *Current Developments & Future Trends in High-Resolution Imaging Mapping from Space*. In: *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Workshop – High Resolution Mapping from Space, October 6, Hannover, Germany, 2003*.
- [PH03] PARSCH, ANDREAS und JOS HEYMANN: *Directory of U.S. Military Rockets and Missiles*. Web-Site, Designation-Systems.Net, Webmaster Andreas Parsch: aparsch@gmx.net, 2003. <http://www.designation-systems.net/dusrm/index.html> (Juli 2004).
- [Pie99] PIETROBON, STEVEN S.: *Program implementation of US Standard Atmosphere (USSA1976)*. Small World Communications, 6 First Avenue, Payneham South SA 5070, Australia, 30 Dezember 1999. The file ‚ussa1976.zip‘ can be downloaded from <http://www.sworld.com.au/steven/space/atmosphere/> (25.05.2004) and contains a turbo pascal program and a 32-bit DOS executable.
- [Pik02] PIKE, JOHN: *The Military Use of Outer Space*. In: (SIPRI), STOCKHOLM INTERNATIONAL PEACE RESEARCH INSTITUTE (Herausgeber): *SIPRI Yearbook 2002 – Armaments, Disarmament and International Security*, Kapitel 11, Seiten 613–664. Oxford University Press, Oxford, UK, September 2002. ISBN 0-19-925176-2.
- [Pik03] PIKE, JOHN: *The paradox of space weapons*. In: (SIPRI), STOCKHOLM INTERNATIONAL PEACE RESEARCH INSTITUTE (Herausgeber): *SIPRI Yearbook 2003 – Armaments, Disarmament and International Security*, Seiten 433–438. Oxford University Press, Oxford, UK, August 2003. ISBN 0-19-926570-4.
- [Pil02] PILAT, JOSEPH: *Verification and Transparency: Relics of Future Requirements?* In: LARSEN, JEFFREY (Herausgeber): *Arms Control – Cooperative Security in a Changing Environment*, Seiten 79–96. Boulder/London, 2002.
- [Pom00] POMPIDOU, ALAIN (Herausgeber): *The Ethics of Space Policy*. UNESCO, New York, USA, 20. April 2000. http://portal.unesco.org/shs/en/file_download.php/97b03b0164b6882267db490323941e56Ethics+of+Space+Policy.pdf.
- [Pri02] PRIMACK, JOEL R.: *Debris and Future Space Activities*. Powerpoint presentation of invited talk at Conference on Future Security in Space, at New Place (near Southampton, England) on May 28-29, 2002, organized by the Monterey Institute of International Studies Center for Nonproliferation Studies and by the University of Southampton’s Mountbatten Centre., Physics Department, University of California, Santa Cruz., 2002. <http://physics.ucsc.edu/cosmo/mountbatten.pdf> (27.08.2002) (PDF-File from Powerpoint presentation) and <http://physics.ucsc.edu/cosmo/Mountbat.PDF> (paper).
- [PS92] PIKE, JOHN und ERIC STAMBLER: *Military Space Systems – Lessons from Desert Storm*. In: HEINTZE, HANS-JOACHIM (Herausgeber): *Remote Sensing Under*

- Changing Conditions – Proceedings of the Immenstaad Workshop 1992*, Bochumer Schriften zur Friedenssicherung und zum Humanitären Völkerrecht, Band 14, Seiten 175–185. UVB Universitätsverlag Dr. N. Brockmeyer, Bochum, 1992.
- [Ray02] RAYTHEON COMPANY: *Ground-based Midcourse Defense (GMD) – Exoatmospheric Kill Vehicle (EKV)*. Product Data Sheet, Raytheon Company, EKV Program Office, P.O. Box 11337, Tucson, Arizona 85734-1337, USA, 2002. http://www.raytheon.com/products/ekv/ref_docs/ekv.pdf (07.2004).
- [Rex96] REX, DIETRICH: *Wird es eng im Weltraum? – Die mögliche Überfüllung erdnaheer Umlaufbahnen durch die Raumfahrt*. Carolo-Wilhelmina Mitteilungen, 1996. <http://www.tu-bs.de/institute/fmrt/raumfahrt/veroeffentlichungen/space/spacedebris.html> (Jan. 03).
- [Röm62] RÖMPP, H.: *Lexikon Chemie*. Thieme, Stuttgart, Deutschland, 5. Auflage, 1962.
- [Röm97] RÖMPP, H.: *Lexikon Chemie*. Thieme, Stuttgart, Deutschland, 10. Auflage, 1997.
- [Röt02] RÖTZER, FLORIAN: *Spionagebilder im Fernsehen*. Telepolis, 13. Juni 2002. Heiße Zeitschriften Verlag GmbH & Co.KG, Hannover, Deutschland, <http://www.telepolis.de/deutsch/inhalt/te/12720/1.html> (14.06.2002).
- [Rot03] ROTHKIRCH, ANDRÉ: *Entwicklungen im Bereich Sensorik, Aufklärung und Fernerkundung und deren Sicherheitsgefährdung/Rüstungsrelevanz*. Beitrag zur Studiengruppensitzung der Vereinigung Deutscher Wissenschaftler (VDW) und IFSH/IFAR, Osnabrück, Deutschland, Juni 2003.
- [RTF04] *Interim Report*. Report, NASA Return to Flight Task Group (RTF TG), Houston, Texas, USA, Januar 20 2004. <http://returntoflight.org/assets/pdf/report-01-20-2004.pdf> (21.01.04).
- [Rum01] RUMSFELD, DONALD H.: *Statement of the honorable Donald D. Rumsfeld*. Statement prepared for the Confirmation Hearing before the Senate Committee on Armed Services, Dirksen Senate Office Building, Washington D.C., USA, Januar 11 2001. www.senate.gov/~armed_services/statemnt/2001/010111dr.pdf (Sep. 2004).
- [Rum03] RUM, GIOVANNI: *GMES Implementation Upgrading Observing Networks – COSMO-SkyMed Constellation*. Presentation at the 4th GMES Forum, Baveno, Italy, 26–28 November 2003. http://www.gmes.info/library/files/Forum%20Reports%20and%20Contributions/4th%20GMES%20FORUM/Parallel_Session_2/4f_prl2_rum_presentation.pdf (24.05.04).
- [RW02] ROSIN, CAROL und ALFRED WEBRE: *How to Proceed with the Space Preservation Treaty*. In: SCHEFFRAN, JÜRGEN und REGINA HAGEN [SH02], Seiten 44–46.
- [SB01] SUTTON, GEORGE P. und OSCAR BIBLARZ: *Rocket Propulsion Elements*. Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 7. Auflage, 2001. ISBN 0-471-32642-9.

- [SB03] SEQUARD-BASE, PETER: *Raketenabwehr: Bedrohung – Verteidigung. Eine physikalisch-technische Annäherung*. Nummer 1/2003 in *Schriftenreihe der Landesverteidigungsakademie – Studien und Berichte zur Sicherheitspolitik*. Bundesministerium für Landesverteidigung, Wien, A, Januar 2003. ISBN: 3-902275-06-5, http://www.bmlv.gv.at/pdf_pool/publikationen/stb1_03.pdf (02.07.2004).
- [SC01] COMMISSION TO ASSESS UNITED STATES NATIONAL SECURITY SPACE MANAGEMENT AND ORGANISATION, Washington D.C., USA: *Report of the Commission to Assess United States National Security Space Management and Organisation*, 2001. <http://www.defenselink.mil/pubs/space20010111.pdf> (15.01.2003).
- [Sch02] SCHEFFFRAN, JÜRGEN: *Militärische Nutzung des Weltraums und Möglichkeiten für Rüstungskontrolle im Weltraum – Völkerrechtliche Grundlagen, politische Rahmenbedingungen und technische Möglichkeiten der Rüstungskontrolle im Weltraum*. Berlin, April 2002. Gutachten für das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), private Kopie (in Auszügen veröffentlicht in [PCG03]).
- [SFK⁺01] SPITZER, H., R. FRANCK, M. KOLLEWE, N. REGA, A. ROTHKIRCH und R. WIEMKER: *Change detection with 1m resolution satellite and aerial images in urban areas*. Universität Hamburg, II. Institut für Experimentalphysik, CENSIS-Report (in print), Hamburg, Germany, 2001.
- [SH01] SCHEFFFRAN, JÜRGEN und REGINA HAGEN (Herausgeber): *China Warns Conference on Disarmament That Consequences of Weaponization of Outer Space Would Be Most Serious*, Nummer 18 in *INESAP Information Bulletin*, Darmstadt, September 2001. International Network of Engineers and Scientists Against Proliferation (INESAP).
- [SH02] SCHEFFFRAN, JÜRGEN und REGINA HAGEN (Herausgeber): *Space Without Weapons*. Nummer 20 in *INESAP Information Bulletin*. International Network of Engineers and Scientists Against Proliferation (INESAP), Darmstadt, August 2002. <http://www.inesap.org/bulletin20/bulletin20.htm> (07.2004).
- [SIA04] SATELLITE INDUSTRY ASSOCIATION, 225 Reinekers Lane Suite. 600, Alexandria VA 22314, USA: „*State of the Satellite Industry*“ Report, 2 Juni 2004. http://www.sia.org/industry_overview/03industrystats.pdf (16.6.04).
- [Sko02] SKOTNIKOV, LEONID A.: *Russian Statement on Joint Working Paper*. In: SCHEFFFRAN, JÜRGEN und REGINA HAGEN [SH02], Seiten 35–36.
- [SL01] SAWAYA-LACOSTE, HUGUETTE (Herausgeber): *Proceedings of the Third Europeans Conference on Space Debris, 19-21 March 2001, European Space Operations Centre (ESOC, Darmstadt)*, ESA SP-473, Noordwijk, The Netherlands, Oktober 2001. ESA Publications Division, ESTEC. ISBN: 92-9092-733-X.
- [Smi01] SMITH, DANIEL: *Space Wars*. Defense Monitor, XXX(2), Februar 2001. <http://www.cdi.org/dm/2001/issue2/space.html> (May 2004).
- [SMP00] AIR FORCE SPACE COMMAND, HQ AFSPC/XPXP 150 Vandenberg Street, Suite 1105 Peterson AFB, CO 80914-4610, USA: *Strategic Master Plan for FY02*

- and Beyond*, Februar 9 2000. <http://www.spacecom.af.mil/hqafspc/library/AFSPCPAOffice/2000smp.html>.
- [SMP02] AIR FORCE SPACE COMMAND, HQ AFSPC/XPPX 150 Vandenberg Street, Suite 1105 Peterson AFB, CO 80914-4610, USA: *Strategic Master Plan for FY04 and Beyond*, November 2nd 2002. <http://www.spacecom.af.mil/hqafspc/library/AFSPCPAOffice/Final04SMP--Signed!.pdf> (01.2003).
- [SMP03] AIR FORCE SPACE COMMAND, HQ AFSPC/XPPX 150 Vandenberg Street, Suite 1105 Peterson AFB, CO 80914-4610, USA: *Strategic Master Plan for FY06 and Beyond*, 1.1, signed Auflage, Oktober 1st 2003. <http://www.peterson.af.mil/hqafspc/library/AFSPCPAOffice/Final06SMP--Signed!v1.1.pdf> (Juni 04).
- [Spa99] SPACY, WILLIAM L.: *Does the United States Need Space-Based Weapons?* CADRE Paper, Air University's College of Aerospace Doctrine, Research, and Education (CADRE), Air University Press, Maxwell Air Force Base, Alabama 36112-6610, USA, September 1999. ISBN 1-58566-070-1, www.maxwell.af.mil/au/aul/aupress/CADRE_Papers/PDF_Bin/spacy.pdf (Aug. 05).
- [SS01] SINGER, CLIFFORD E. und AMY SANDS: *Die multilaterale nukleare Rüstungskontrolle aus der Sackgasse holen*. Occasional Paper, ACDIS SIN:2G.2001, ACDIS, Champaign, IL 61820, USA, September 2001. <http://www.acdis.uiuc.edu/Research/OPs/SingerSands/GerSingerSandsOP.pdf> (07.2004).
- [SS02] SINGER, CLIFFORD E. und AMY SANDS: *Keys to Unblocking Multilateral Nuclear Arms Control*. Occasional Paper, ACDIS, University of Illinois at Urbana-Champaign, IL 61820, USA, Juli 2002.
- [SWBff] *Spacewarn Bulletin*. Bulletin, The World Warning Agency for Satellites (WWAS), Code 633, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA, 1971 ff. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/spacewarn/> (23.12.2004) (Main page).
- [Tau03] TAUBMAN, PHILIP: *Secret Empire: Eisenhower, the CIA, and the Hidden Story of America's Space Espionage*. Simon & Schuster Inc., New York, NY, USA, März 2003. ISBN 0684856999.
- [Tho95] THOMSON, ALLEN: *Satellite Vulnerability: a post-Cold War issue?* Space Policy, 11(1):19–30, Februar 1995. ISSN 0265-9646, http://www.fas.org/spp/eprint/at_sp.htm (19.8.05).
- [UCS83] *A Treaty Limiting Anti-Satellite Weapons*. Report, Union of Concerned Scientists (UCS), UCS Publications, 2 Brattle Square, Cambridge, MA 02238-9105, USA, Mai 1983. http://www.ucsusa.org/global{_}security/space{_}weapons/page.cfm?pageID=1153 (August 2004).
- [UCS84] *Space-Based Missile Defense*. Report, Union of Concerned Scientists (UCS), UCS Publications, 2 Brattle Square, Cambridge, MA 02238-9105, USA, März 1984.
- [UCS04] *Missile Defense Program Budget Summary for FY 2005, update*. Report, Union of Concerned Scientists (UCS), Cambridge, MA, USA, 4 März 2004. http://www.ucsusa.org/global_security/missile/defense/index.cfm (08.2004).

- [UN58] *Question of the peaceful use of outer space.* United Nations Resolution 1348 (XIII), United Nations General Assembly, 13 Dezember 1958. http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/gares/html/gares_13_1348.html (07.2004).
- [UN59] *International co-operation in the peaceful uses of outer space.* United Nations Resolution 1472 (XIV), United Nations General Assembly, 12 Dezember 1959. http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/gares/html/gares_14_1472.html (07.2004).
- [UN62] *Declaration of Legal Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space.* General Assembly Resolution 1962 (XVIII), United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 13 Dezember 1962. <http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/lpos.html> (07.2004).
- [UN67] *Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, Including the Moon and Other Celestial Bodies.* United Nations Resolution 2222 (XXI), United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 27 Januar 1967. <http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/outerspt.html> (07.2004).
- [UN68] *Agreement on the Rescue of Astronauts, the Return of Astronauts and the Return of Objects Launched into Outer Space.* United Nations Resolution 2345 (XXII), United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 22 April 1968. <http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/rescuetxt.html> (07.2004).
- [UN72] *Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects.* United Nations Resolution 2777 (XXVI), United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 29 März 1972. <http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/liabilitytxt.html> (07.2004).
- [UN75] *Convention on Registration of Objects Launched into Outer Space.* United Nations Resolution 3235 (XXIX), United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 14 Januar 1975. <http://www.oosa.unvienna.org/SORegister/regist.html> (07.2004).
- [UN79] *Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies.* United Nations Resolution 34/68, United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 18 Dezember 1979. <http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/moon.html> (07.2004).
- [UN82] *Principles Governing the Use by States of Artificial Earth Satellites for International Direct Television Broadcasting.* United Nations Resolution 37/92, United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 10 Dezember 1982. <http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/dbs.html> (07.2004).
- [UN86] *Principles Relating to Remote Sensing of the Earth from Outer Space.* United Nations Resolution 41/65, United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 3 Dezember 1986. <http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/rs.html> (07.2004).

- [UN92] *Principles Relevant to the Use of Nuclear Power Sources in Outer Space*. United Nations Resolution 47/68, United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 14 Dezember 1992. <http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/nps.html> (07.2004).
- [UN93a] *Amendment of the Treaty Banning Nuclear Weapon Tests in the Atmosphere, in Outer Space and under Water*. United Nations Resolution A/RES/48/69, United Nations General Assembly, 16 Dezember 1993. <http://www.un.org/documents/ga/res/48/a48r069.htm> (07.2004).
- [UN93b] *International cooperation in the peaceful uses of outer space*. United Nations Resolution A/RES/48/39, United Nations General Assembly, 10 Dezember 1993. <http://www.un.org/documents/ga/res/48/a48r039.htm> (07.2004).
- [UN93c] *Prevention of an arms race in outer space*. United Nations Resolution A/RES/48/74, United Nations General Assembly, 16 Dezember 1993. <http://www.un.org/documents/ga/res/48/a48r074.htm> (07.2004).
- [UN93d] *Verification in all its aspects, including the role of the United Nations in the field of verification*. United Nations Resolution A/RES/48/68, United Nations General Assembly, 16 Dezember 1993. <http://www.un.org/documents/ga/res/48/a48r068.htm> (07.2004).
- [UN94] *Study on the Application of Confidence-building Measures in Outer Space*, Nummer 27 in *Disarmament study series*, New York, USA, 1994. Centre for Disarmament Affairs, United Nations.
- [UN96] *Declaration on International Cooperation in the Exploration and Use of Outer Space for the Benefit and in the Interest of All States, Taking into Particular Account the Needs of Developing Countries*. United Nations Resolution 51/122, United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, 13 Dezember 1996. <http://www.oosa.unvienna.org/SpaceLaw/spben.html> (07.2004).
- [UN99] *Technical Report on Space Debris*. Report A/AC.105/720, Scientific and technical Subcommittee of the United Nations Committee on the Peaceful use of Outer Space, 1999. <http://www.oosa.unvienna.org/isis/pub/sdtechrep1/> (07.2004).
- [UNI03] *Making Space for Security?*, Nummer 1 in *Disarmament Forum*. United Nations Institute for Disarmament (UNIDIR), 2003. http://www.unidir.org/bdd/fiche-periodique.php?ref_periodique=1020-7287-2003-1-en (Feb. 03).
- [USA01] *Space Operations*. Air Force Doctrine Document 2-2 (AFDD 2-2), United States Air Force, USA, November 27 2001. <http://www.e-publishing.af.mil/pubfiles/afdc/dd/afdd2-2/afdd2-2.pdf> (06.2004).
- [USA04] *Counterspace Operations*. Air Force Doctrine Document 2-2.1 (AFDD 2-2.1), United States Air Force, USA, August 2 2004. http://www.dtic.mil/doctrine/jel/service_pubs/afdd2_2_1.pdf (10.2004).
- [USC99] *New World Coming: American Security in the 21st Century – Major Themes and Implications*. Phase I Report on the Emerging Global Security Environment for the First Quarter of the 21st Century, The United States Commission on

- National Security/21st Century, Washington, USA, September 15 1999. <http://www.nssg.gov/Reports/NWC.pdf> (07.2004).
- [USC00] *Seeking a National Strategy: A Concert for Preserving Security and Promoting Freedom*. Phase II Report on a U.S. National Security Strategy for the 21st Century, The United States Commission on National Security/21st Century, Washington, USA, April 15 2000. <http://www.nssg.gov/PhaseII.pdf> (07.2004).
- [USC01] *Road Map for National Security: Imperative for Change*. Phase III Report of the U.S. Commission on National Security/21st Century, The United States Commission on National Security/21st Century, Februar 15 2001. <http://www.nssg.gov/PhaseIIIFR.pdf> (07.2004).
- [VDW02] *Ist ein Verbot von Weltraumwaffen möglich?* Reader zum VDW-Workshop am 16. November 2001 im Magnus-Haus der Deutschen Physikalischen Gesellschaft in Berlin, Vereinigung Deutscher Wissenschaftler (VDW), Berlin, Deutschland, März 2002. Ein Kurzbericht zum Workshop findet sich unter <http://www.vdw-ev.de/aktuelle-projekte/Bericht-Berl-SPACE-VDW.pdf> (07.2004), der ausführliche Reader kann bei der Geschäftsstelle der VDW, Schopenhauerstraße 26, 14129 Berlin angefordert werden.
- [VSO04] *Visual Satellite Observer's Home Page (VSOHP)*. Web-Site, SeeSat-L/VSOHP and others, 1997 – 2004. <http://www.satobs.org/satintro.html> (Juli 2004).
- [W⁺96] WINER, B. und OTHERS: *GPS Receiver Laboratory RFI Tests*. In: *Proceedings of the Institute of Navigation National Technical Meeting*, Santa Monica, CA, USA, Januar 22-24 1996.
- [WD04] WANG, TING und YUNFENG DONG: *Collision Probability between Debris Clouds and Spacecraft*. Contribution to the Symposium on Sustainability of Space Technology and Resource at the Beijing University of Aeronautics and Astronautics (BUAA), Beijing, China, 13-15 April 2004.
- [WG02] WRIGHT, DAVID und LAURA GREGO: *Anti-Satellite Capabilities of Planned US Missile Defence Systems*. *Disarmament Diplomacy*, 68, 2002. <http://www.acronym.org.uk/dd/dd68/68op02.htm> (Sep. 03).
- [WH96] *Fact Sheet National Space Policy*. Report, The White House – National Science and Technology Council, Office of Science and Technology Policy, 1600 Pennsylvania Ave, N.W, Washington, DC 20502, USA, September 19 1996. <http://www.ostp.gov/NSTC/html/pdd8.html> (06.2004).
- [WH01] THE WHITE HOUSE, Washington, D.C., USA: *Remarks by the President to Students and Faculty at National Defense University*, 1. Mai 2001. Press Release, <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2001/05/20010501-10.html> (Sep. 2004).
- [WH02a] *The National Security Strategy of the United States of America*. Report, The White House, Washington, D.C., USA, September 17 2002. <http://www.whitehouse.gov/nsc/nss.pdf> (22.06.2003).

- [WH02b] *The National Strategy to Combat Weapons of Mass Destruction*. Report, The White House, Washington, D.C., USA, Dezember 11 2002. <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2002/12/WMDStrategy.pdf> (06.2003).
- [WH03] THE WHITE HOUSE, Office of Science and Technology Policy – Executive Office of the President, Washington, DC 20502, USA: *Fact Sheet – U.S. Commercial Remote Sensing Space Policy*, April 2003. <http://www.ostp.gov/html/Fact%20Sheet%20-%20Commercial%20Remote%20Sensing%20Policy%20-%20April%2025%202003.pdf> (03.07.2003).
- [WH04a] *A Journey to Inspire, Innovate, and Discover*. Commission’s final report, President’s Commission on Implementation of United States Space Exploration Policy, Washington, D.C., USA, Juni 2004. U.S. Government Printing Office, ISBN 0-16-073075-9.
- [WH04b] *President’s Statement on the Commission on Implementation of United States Space Exploration Policy*. Press release, The White House, Washington, D.C., USA, Juni 16 2004. <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2004/06/20040616.html> (31.08.2004).
- [WH04c] *A Renewed Spirit of Discovery*. Press release, The White House, Washington, D.C., USA, 2004. http://www.whitehouse.gov/space/renewed_spirit.html (12.08.2004).
- [Wie02] WIEDEMANN, CARSTEN: *Weltraumschrott*. Report, Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme, Darmstadt, Deutschland, 2002. <http://ilr.euroavia.org/forschung/raumfahrt/spacedebris/> (Feb. 03).
- [Wil01] WILSON, TOM: *Threats to United States Space Capabilities*. Report prepared for the Commission to Assess United States National Security Space Management and Organization, Space Commission Staff Member, 2001. <http://www.fas.org/spp/eprint/article05.html> (Aug. .05).
- [Wol03] WOLTER, DETLEV: *Grundlagen „Gemeinsamer Sicherheit“ im Weltraum nach universellem Völkerrecht: Der Grundsatz der friedlichen Nutzung des Weltraums im Lichte des völkerrechtlichen Strukturprinzips vom „Gemeinsamen Erbe der Menschheit“*. Schriftenreihe zum Völkerrecht. Duncker & Humblot, Berlin, Deutschland, 2003. ISBN: 3-428-11146-X; Zugl.: Dissertation, Humboldt-Univ., Berlin, 2003.
- [Wri04] WRIGHT, DAVID C.: *Technical Issues of Anti-Satellite (ASAT) Weapons*. Contribution to the Symposium on Sustainability of Space Technology and Resource at the Beijing University of Aeronautics and Astronautics (BUAA), Beijing, China, 13-15 April 2004.
- [WSL02] *The Military Space Plane, Conventional ICBM’s, and the Common Aero Vehicle: Overlooked Threats of Weapons Delivered Through or From Space*. WSLF Information Bulletin, Fall 2002, Western States Legal Foundation (WSLF), 1504 Franklin St., Suite 202, Oakland, California 94612, USA, 2002. <http://www.wslfweb.org/docs/mspcav.pdf> (Jan. 2003).

- [WW89] WEIGERT, ALFRED und HEINRICH J. WENDKER: *Astronomie und Astrophysik – ein Grundkurs*. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Deutschland, 2., überarbeitete Auflage, 1989. ISBN: 3-527-26916-9.
- [You00] YOUNGER, STEPHEN M.: *Nuclear Weapons in the Twenty-First Century*. Report, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA, 27 Juni 2000.
- [Zom90] ZOMBECK, M. V.: *Handbook of Space Astronomy and Astrophysics*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2nd Auflage, 1990. ISBN 0 521 34787 4 (Paperback).
- [ZZZ] *Quellen zum Status ausgewählter Satelliten:*
Satellite Information from Cary and Associates:
<http://www.caryandassociates.com/tech/satellites.htm>
EO Satellite Launch Table: <http://www.itc.nl/~verb1~1bakker/launch-table.html>
Gordon Petrie [Pet03]
ERS-2:
(ASTR) <http://www.atr.rl.ac.uk/documentation/docs/userguide/index.shtml>
(GOME) <http://www-iup.physik.uni-bremen.de/gome/>
Pleiades-Satelliten: <http://www.space.se/node2823.asp>
Alos: <http://alos.nasda.go.jp/main2e.html>
<http://alos.nasda.go.jp/3/schedule-e.html>
IRS-Satelliten: <http://www.isro.org/programmes.htm>
CBERS: <http://www.cbers.inpe.br/en/programas/satelites4.htm>
Radar1: <http://www.futron.com/pdf/FAA%202002%20NGSO%20Forecast.pdf>
Komsat 1 + 2: http://krsc.kari.re.kr/eng/sub/main_all.htm
Macosat: http://www.satreci.co.kr/products/service_1.htm#macosat
EROS A / EROS B
<http://www.imagesatintl.com/aboutus/satellites/satellites.shtml>
Cartosat-2 (IRS-2A), Indian Sat.:
http://www.isro.org/decade_plan.htm (02.07.03)
Ikonos-Satellit (Spaceimaging Inc.)
http://www.spaceimaging.com/newsroom/corporate_fact_sheet.htm
http://www.spaceimaging.com/newsroom/2003_new_policy.htm
Quickbird-Satellit (Digitalglobe): <http://www.digitalglobe.com>
Worldview-Satellit (Digitalglobe): Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Seite 559, ASPRS, Bethesda, MD 20814-2160, USA, Mai 2004.
Spot Image: <http://www.spotimage.fr>
KH-7 System:
http://www.nima.mil/cda/article/0,2311,3104_11762_114878,00.html#7
Defense Support Program Satellites:
http://www.af.mil/news/factsheets/Defense_Support_Program_Satel.html
Envisat: <http://envisat.esa.int/instruments/>
SAR-Lupe: <http://www.ohb-system.de/dt/pdf/sar-lupe-broschure.pdf> (März 2004).

Working Paper von IFAR:

WORKING PAPER #1:

Präventive Rüstungskontrolle

WORKING PAPER #2:

Die Raketenprogramme Chinas, Indiens und Pakistans sowie Nordkoreas - Das Erbe der V-2

WORKING PAPER #3:

Weapons of Mass Destruction in the Near and Middle East - After the Iraq War 2003

WORKING PAPER #4:

Streitkräftemodernisierung und ihre Effekte auf militärische Bündnispartner

WORKING PAPER #5:

Der Schutz Kritischer Infrastrukturen

WORKING PAPER #6:

Terrorgefahr und die Verwundbarkeit moderner Industriestaaten: Wie gut ist Deutschland vorbereitet?

WORKING PAPER #7:

Die Vereinigten Staaten und Internationale Rüstungskontrollabkommen

WORKING PAPER #8:

Auf dem Weg zu einer einheitlichen europäischen Rüstungspolitik

WORKING PAPER #9:

Laser als Waffensysteme?

WORKING PAPER #10:

Weltraumbewaffnung und präventive Rüstungskontrolle

Kontakt:

Götz Neuneck

Interdisziplinäre Forschungsgruppe Abrüstung und Rüstungskontrolle

Institute for Peace Research and Security Policy at the University of Hamburg

Falkenstein 1, 22587 Hamburg

Tel.: +49 40 866 077-0 Fax: +49 40 866 36 15

ifar@ifsh.de www.ifsh.de

www.armscontrol.de