

(c) 2006-2007 Dipl.-Ing. (RWTH) Jan Thimo Grundmann
e : janthimogrundmann (at) yahoo.de
Betr.: Diplomarbeit v.1.0.0.5isf pdf

Diplomarbeit

**Betrachtung des Missionsszenarios zur Verhinderung
von Einschlägen von Asteroiden auf die Erde unter
Berücksichtigung des Bedrohungspotentials und der
technischen Möglichkeiten**

Verfasser: Jan Thimo Grundmann
Betreuer: Dipl.-Ing. Johannes Lux

Wiss. Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Koschel

Lfd. Nr.: D 2006-03

2007 durchgesehene Fassung

Inhaltsverzeichnis

	Aufgabenstellung	i
	Inhaltsverzeichnis	ii
	Verzeichnis der Tabellen	iv
	Nomenklatur	vi
1.	Einleitung	1
1.1.	Historische Entwicklung	4
1.1.1.	Entdeckung der kleinen Planeten	4
1.1.2.	Entdeckung der erdbahnkreuzenden Kleinkörper	8
1.1.3.	Entwicklung der defensiven Ballistik	12
1.2.	Konvergenz der historischen Entwicklung	14
1.3.	Folgerungen aus der historischen Entwicklung	15
2.	Bedrohungslage	16
2.1.	Art und Anzahl der kleinen Körper des Sonnensystems	18
2.2.	Erdkollisionswahrscheinlichkeit der kleinen Körper des Sonnensystems	36
2.3.	Auswirkungen des Einschlags eines kleinen Körpers auf der Erde	47
2.4.	Komplikation der Lage durch Kommunikation und Entscheidungsprozesse	61
3.	Technische Möglichkeiten	63
3.1.	Beobachtungs- und Frühwarnmittel	63
3.1.1.	Fehlerquellen in der Bahnvorhersage	72
3.1.2.	Schwer beobachtbare Objekte	78
3.2.	Anforderungen an Marschflug und Zielflug	84
3.3.	Wirkmethoden	89
3.3.1.	Radiative Ablation	89
3.3.2.	Kinetische Energie	100
3.3.3.	Technischer Rückstoßantrieb	102
3.3.4.	Solarthermische Verdampfung	103
3.3.5.	Vergleich der Wirkmethoden	105
3.4.	Zur Verfügung stehende Träger	106
4.	Missionsszenarien	116
5.	Zusammenfassung	129
6.	Literatur	132

A.	Anhänge	151
A.1.	SI-fremde Einheiten	151
A.2.	Bezeichnungssysteme für kleine Körper des Sonnensystems	152
A.3.	Transitbeobachtungen vor Sonne und Mond, und nahe Erdpassagen	154
A.3.1.	Untere Grenze des Durchmessers eines Objektes in Transitbeobachtung	155
A.4.	Sämtliche offiziellen Informationen über das Teller-Ulam-Prinzip	157
A.5.	(136199) Eris = 2003 UB313 »Xena« = Planet Lila = Planet X?	158

5. Zusammenfassung

Es können folgende Schlüsse gezogen werden:

Die vorliegenden Daten und Einzelfallschilderungen zeigen mit Sicherheit:

- 1.) Die Verbesserung der Charakterisierung der Eigenschaften erdnaheer Objekte und ihrer Populationen ist für die Vorbereitung auf eventuell zu bekämpfende Objekte dringend geboten. Insbesondere der Zusammenhang zwischen der absoluten Helligkeit H und der Masse muß viel besser bestimmt werden, z.B. über spektroskopische Methoden, die der Entdeckungs- und Suchbeobachtung nachgeordnet sind.
- 2.) Die Bahndaten von als mögliche PHO erkannten Objekten über etwa 20 m Durchmesser, insbesondere von sehr nahe passierenden Objekten über etwa 60 m Durchmesser, sollten mit automatischer Radarbeobachtung noch in der Entdeckungsnacht präzisiert werden, um ihren Verlust auszuschließen und die Frühwarnung für den begonnenen synodischen Zyklus sicherzustellen.
- 3.) Dazu ist die Einrichtung eines koordinierten Netzes von mindestens vier schnell und frei zielbaren Radarteleskopen notwendig. Die Hälfte sollte auf der Südhalbkugel liegen, abwechselnd mit denen im Norden um etwa 90 bzw. 360 / n Längengrade versetzt. Diese Radarteleskope sollten in der Leistung der Anlage von Arecibo mindestens nahekommen. Sie sollten zur Zusammenarbeit sowohl im Synchronbetrieb untereinander als auch jeweils ortsnahe koordiniert sein mit den (ergiebigsten) optischen Einrichtungen. Dazu sind insbesondere auf der Südhalbkugel automatisierte optische Suchprogramme nötig, die denen der Nordhalbkugel gleichwertig sind. Auf beiden Halbkugeln bedarf es einer den lokalen Wettereinschränkungen entsprechenden höheren Zahl von optischen Standorten, die allesamt nach der entdeckungseffizientesten Methode betrieben werden sollten (s. folgender Punkt). Außerhalb der lokalen optischen Teleskopzeit und sofortiger Anforderungen wegen Entdeckungen aus dem Suchbetrieb anderer optischer Standorte sollten Radar-Nachbeobachtungen der weltweiten Entdeckungen auf möglichst weiten Bahnbögen unbedingten Vorrang vor anderen radar- oder radioastronomischen Untersuchungen haben.
- 4.) Die bestehenden NEO-Such- und Überwachungsprogramme müssen intensiviert werden, um in einer Zeitspanne, die kürzer ist als der mittlere Abstand von Tunguska-Ereignissen möglichst viele dieser durch ihre Luftdetonationen besonders gefährlichen Objekte zu finden. Die Ausrüstung sollte dahingehend verbessert werden, daß sowohl die Blinde Zone zuverlässig geschlossen wird, als auch die Tunguska-Klasse der Impaktoren in effektiven Entfernungen gesehen werden. Unter Berücksichtigung der durch ihre Atmosphärenfestigkeit gefährlichen Nickeleisen-Kleinkörper bedeutet dies im Mindesten eine Erweiterung der Suche bis herab zu $H = 26$ oder etwa 20 m mittlerem zu erwartenden Durchmesser. Eine Ausrüstung mit Teleskopen von 3.5 m Spiegeldurchmesser, die nach dem Verfahren von LINEAR betrieben werden, ist für die Erreichung dieser Mindestschwellen ausreichend. Die Suche nach ebenfalls noch gefährlichen kleineren Objekten erfordert dementsprechend größere Teleskope in sonst gleicher Anordnung. Zu empfehlen ist, auch zur Erzielung einer vertretbaren Sicherheitsmarge, eine Auslegung auf $H = 28$ bzw. 10 m.
- 5.) Die Dokumentation geflogener Geräte, die für interplanetare Missionen relevant sein könnten, darf nicht entsorgt werden. Aufbewahren für alle Zeit sollte man Unterlagen in einer derartigen Detailtiefe, daß die Fähigkeit zur Kopie einmal erprobter Geräte erhalten bleibt.

6.) Alle voranstehenden Maßnahmen sind kosteneffektiv. Der nötige Gesamtaufwand liegt weit unter den Folgekosten eines Tunguska-Ereignisses über bewohntem Gebiet und deutlich unter denen über unbewohntem Gelände; er ist vernachlässigbar gegenüber den Folgen auch eines gegenüber dem Tunguska-Ereignis wesentlich kleineren Impaktes über einem Gebiet mit städtisch geschlossener Bebauung.

Die vorliegenden Daten und Einzelfallschilderungen zeigen deutlich:

- 1.) Die Kenntnis über Kleinkörper innerhalb der Erdbahn ist lückenhaft. Es besteht eine ungenutzte Beobachtungskapazität für Transitbeobachtungen an Sonnenteleskopen. Diese könnten etwa so weit reichen wie die Beobachtungen von Radarteleskopen, jedoch mit einem um eine Größenordnung weiteren sich als Suchstrahl eignenden Beobachtungsfeld.
- 2.) Eine weitere ungenutzte Beobachtung Gelegenheit sind die Kameras von Raumsonden, besonders derer, die sich innerhalb der Erdbahn aufhalten. Von dort aus können erdnahe Objekte und solche innerhalb der Erdbahn, aber außerhalb der Sondenbahn in der um ein Vielfaches günstigeren Oppositionsstellung beobachtet werden. [141] Die Nutzung von Satelliten- und Sondenkameras, auch in größerer Sonnenferne, in interplanetaren Bahnen, aus dem jeweiligen Planetenschatten heraus oder in anderen freien Beobachtungszeiten, bietet sich allgemein an, auch zur Präzisierung von Populationsschätzungen durch lokale Oppositionsbeobachtungen oder bordautonome Suchprogramme. Dies schließt alle geeigneten sowie spezialisierte Erdsatelliten ein.
- 3.) Die echte praktische Erprobung aller Wirkmethoden für die Ablenkung von Kleinkörpern ist mindestens ratsam, meist dringend geboten. Es bestehen zum Teil große Ungewißheiten bei den hochenergetischen Methoden über ihre genaue Wirksamkeit und besonders über mögliche unerwünschte Wirkungen. Bei niedrigenergetischen Methoden ist mehr genaues Wissen über die gegenseitigen Einflüsse von Wirkflugkörper und Ziel nötig, sowie über die erzielbaren Leistungen.
- 4.) Es besteht ein Bedarf für Schwerlastträger mit Oberstufen, die sehr hohe Endgeschwindigkeiten mit für die Trägergröße kleinen Nutzlasten erreichen können. Eine bedarfsweise Stapelbarkeit kryogener Oberstufen in oder unter der Nutzlastverkleidung wäre effektiv und wünschenswert. Solche Träger wären auch für rein wissenschaftliche Missionen nützlich.

Die vorliegenden Daten und Einzelfallschilderungen lassen wahrscheinlich erscheinen:

- 1.) Die Ablenkung kleiner und mittelgroßer PHO ist mit existierender Technik und der bestehenden Infrastruktur und Betriebsintensität des kommerziellen Raumfahrtsektors machbar.
- 2.) Die Ablenkung großer Objekte braucht längere Vorlaufzeiten, oder die Bereitschaft zum raschen Einsatz nuklearer Wirknutzlasten und zu ihrer *vorherigen, umfassenden und vollständigen praktischen Erprobung unabhängig von einem konkreten Bedrohungs- oder Einsatzfall*.
- 3.) Der Einsatz nuklearer Wirknutzlasten kann durch die praktische Erprobung weiterer Methoden in Grenzen reduziert werden. Der erfolgversprechendste Ansatz dafür sind solarthermische Wirkmethoden, da sie die Wirkenergie nicht mitführen müssen, und geeignete Trägersatelliten kommerziell verfügbar sind.

Die vorliegenden Daten und Einzelfallschilderungen legen nahe:

- 1.) Das wirkliche Risiko durch Einschläge ist noch immer nicht richtig im Bewußtsein der Öffentlichkeit angelangt, da in weiten Teilen der Eindruck entstanden ist, daß entweder mit der Suche nach 90 % der 1-km-NEA die wesentlichen und gefährlichsten Probleme behoben seien, oder daß ein Abfangvorgang ohnehin technisch undurchführbar sei.
- 2.) Die NEO-, und besonders die PHO-Population scheint immer noch wesentlich größer zu sein als bisher vermutet oder geschätzt. Insbesondere kommen neue Gruppen von Objekten hinzu wie die IEA, koorbitale NEO, NEO hoher Inklination, usw. Eine weitere Erhöhung der geschätzten Anzahl in irgendeinem Größensegment um nahezu eine Größenordnung, wie in den vergangenen Jahren erfolgt, ist wohl recht unwahrscheinlich, kann aber für diese neuen Gruppen jeweils gut möglich sein.
- 3.) Solarelektrische Antriebe haben ein großes Potential für den Einsatz als Reiseantrieb im inneren Sonnensystem, besonders zum Inklinationswechsel und bei Transferbahnen, die von der Erde zunächst sonnenwärts führen. Dies gilt besonders, wenn unter bestmöglicher Ausnutzung der an Bord zur Verfügung stehenden elektrischen Leistung der spezifische Impuls und im Gegenzug dazu der Schub variabel ist; erhöhter Schub bei Inkaufnahme eines niedrigeren spezifischen Impulses für den Bahneinschuß und Bahnmanöver, gerade auch während Planetenvorbeiflügen, und hoher spezifischer Impuls bei entsprechend niedrigerem Schub für den Einsatz als Wirkmethode zur Kleinkörperablenkung und zur andauernden Beschleunigung in den Reisephasen.

»Der beste Regen
sei doch immer der, mit welchem der Himmel unsere Felder und Weinberge tränkt
und den Segen fruchtbarer Zeiten sendet,
aber was sagen wir dazu, wenn es Schwefel oder Blut regnet, wenn es Frösche,
Steine
oder gar Soldatenhüte regnet?«

Schatzkästlein des Rheinischen Hausfreundes
Johann Peter Hebel (1760-1826)
(über die Fälle von Meteorsteinen, insbesondere den von L'Aigle)
- nach [38-31f.] -

—

»Mehrmaliges Hinschauen hilft bei der Feststellung des Sachverhalts doch ganz enorm.«

Herwig Macher, Anwalt, nach der Feststellung eines eigenen Fehlers bei der Inspektion des
Vorhandenseins der Inhaberkennzeichnung an einem Geschäftslokal
nach einer Abmahnung betreffs des Fehlens derselben
- Erbsenzähler, rbb Fernsehen, 02.08.2006, 15:02 -

6. Literatur

Es wird, wenn möglich, im Literaturverzeichnis außer der Auflage auch die laufende Nummer des Druckes und das Datum des Abschlusses, z.B. aus dem Vorwort, angegeben, um eine korrekte Zuordnung zu erleichtern.

- [38] Rolf W. Bühler
Meteorite - Urmaterie aus dem interplanetaren Raum
Birkhäuser/Weltbild, 1992, ISBN 3-89350-518-0
- [141] Thomas Bührke, **SOHO** - Exploring the Sun
Sterne und Weltraum 5/2000 S.338ff. SuW **39** Nr. 5, ISSN 0039-1263
- auch: Daniel Fischer
Sohos Rückkehr: die Rettung eines Satelliten
Sterne und Weltraum 11/1998 S.928ff. SuW **37** Nr. 11, ISSN 0039-1263;
Soho wieder im Einsatz
Sterne und Weltraum 4/1999 S.323 SuW **38** Nr. 4, ISSN 0039-1263;
SuW Special 4 - Sonne, S.38ff., ISSN 1434-2057; und <http://www.suw-online.de>