

# ***Weltraumschrott***

## ***Das Abfallprodukt der Raumfahrt***

Katharina Rieke



Quelle: <http://www.apenotmonkey.com/2011/09/28/space-debris-be-gone/>; 30.10.2012

**Seminararbeit**  
**im W-Seminar „Raumfahrt“**

**Weltraumschrott – Das Abfallprodukt der Raumfahrt**

von  
Katharina Rieke

Betreuende Lehrkraft: StR Tobias Schüttler

Abgabetermin: 6. November 2012

Punktzahl für die abgelieferte Arbeit (3x): .....

Punktzahl für die Präsentation mit Prüfungsgespräch (1x): .....

Gesamtleistung in der Seminararbeit (Arbeit x 3 + Präsentation):

.....

.....  
(Unterschrift des Kursleiters)

Ich erkläre hiermit, dass ich die Seminararbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

.....  
(Unterschrift des Schülers)

<b><u>Inhaltsverzeichnis:</u></b>	<b><u>Seite</u></b>
1 Einleitung	7
2 Definition von Weltraumschrott	7
3 Entstehung von Weltraumschrott	8
4 Auswirkungen des Weltraumschrotts auf die Raumfahrt	10
4.1 Physikalische Grundlagen	11
4.2 Beispielrechnung im LEO	13
4.3 Auswirkungen auf die ISS	14
4.4 Auswirkungen auf Satelliten	15
5 Schutzmaßnahmen vor Kollisionen	15
5.1 Katalogisierung und Ausweichen	15
5.1.1 Katalog der NASA	16
5.1.2 Katalog der ESA	16
5.1.3 Ausweichen	17
5.2 „Whipple Shields“	17
6 Weltraumrecht	19
6.1 Erster Weltraumvertrag	19
6.2 Richtlinien bezüglich Weltraumschrotts	20
7 Maßnahmen zur Verminderung von Weltraumschrott	21
7.1 Vermeidung	21
7.2 Kontrollierter Absturz	21
7.3 Friedhofsorbit	22
7.4 Laser	23
7.5 Metallwolke	24
7.6 Einsammeln durch Spaceshuttle	24
8 Schluss	25
Nachwort	26

## Anhang

Glossar	II
Abkürzungsverzeichnis	VI
Quellen- und Literaturverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	XIII
Bildquellenverzeichnis	XIV
Freigabe zur nicht-kommerziellen Nutzung	XV

## **1 Einleitung**

„Warum ich diesen Mist erzähle? Weil das verdammte Waschbecken dieser verdammten Raumstation auf meinen Kopf fiel!“<sup>1</sup>

Das Zeitalter, in dem wir leben, können wir uns ohne Internet kaum noch vorstellen. Dass dies durch Satelliten ermöglicht wird, wissen viele Menschen – doch wie es im All wirklich aussieht, nur sehr wenige.

Denn unser Weltall, der Himmel, in den wir täglich schauen, ist nicht nur mit Satelliten gespickt, sondern auch voller Schrott, dem Abfallprodukt der Raumfahrt.

Warum ich diesen Mist erzähle?

Weil uns dieses Thema alle betrifft und eine ernst zu nehmende Gefahr darstellt, die immer größer wird, obwohl fast niemand weiß, was Weltraumschrott ist.

## **2 Definition von Weltraumschrott**

Der Begriff Weltraumschrott ist ein Sammelwort für alle Gegenstände und Teilchen, die durch die irdische Raumfahrt ins Weltall gelangt sind und jetzt auf ihren Umlaufbahnen um die Erde kreisen, ohne Kontakt zu ihr zu haben. Die Größe dieses Abfalls variiert zwischen wenigen Nanometern und mehreren Metern. Mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von ungefähr 8 km/s stellen selbst die kleinsten der Schrottteile eine große Gefahr für die heutige Raumfahrt dar.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Safier, David: Mieses Karma, 14. Auflage, Hamburg, 2008, S. 33

<sup>2</sup> Vgl. <http://www.bundestag.de/dokumente/analysen/2009/weltraummuell.pdf>; 24.09.2012

### **3 Entstehung von Weltraumschrott**

Obwohl es inzwischen allgemeine Richtlinien und Empfehlungen bezüglich der Verminderung von Weltraumschrott gibt, an die sich viele Raumfahrtnationen halten, ist das Erzeugen von Weltraumschrott eine unvermeidbare Begleiterscheinung der Raumfahrt. Bei jedem weiteren Raketenstart entsteht wieder neuer Weltraumschrott.

Raketen werden mindestens zweistufig, eher noch dreistufig gebaut, weil eine einzige Stufe nicht ausreichend Beschleunigung erzeugt, um die erste kosmische Geschwindigkeit von 7,9 km/s zu überwinden und damit die Nutzlast auf ihre Umlaufbahn zu bringen. Zum Ende der Beschleunigungsphase der ersten Stufe wird diese abgesprengt und verglüht noch in der Erdatmosphäre. Doch schon die zweite Stufe verglüht nach Absprengung nicht mehr unbedingt, sondern fliegt als tickende Zeitbombe im Weltall umher: Aufgrund der im Tank verbliebenen Treibstoffreste, oder einer nicht vollständig entladenen Batterie könnte sie jederzeit explodieren und dadurch in viele kleine Teile auseinanderbrechen, die sich verteilen. Außerdem kann es bei der Absprengung einer Stufe passieren, dass sich Abdeckkappen oder Spannbänder, sogenannte „missionsbedingte Objekte“, lösen.<sup>3</sup>



**Abb. 1: Explosion einer Oberstufe**

Ist eine Rakete mit Feststofftriebwerken ausgestattet, entstehen unmittelbar nach der Beschleunigung – während des Abbrennens des mit Aluminium versetzten Treibstoffs – winzige Aluminiumoxid-Partikel. Diese verkleben oft am Ende des Abbrandes zu Schlackestücken und können eine Größe von bis zu 3 cm erreichen.

Ebenso kann es während des Flugs vorkommen, dass winzige Farb- und Lackpartikel oder auch Stücke aus der Isolation absplittern. Dies kann aber auch

---

<sup>3</sup> Vgl. <https://www.tu-braunschweig.de/ilr/forschung/raumfahrttechnik/spacedebris>; 24.09.2012

als Folge der Oberflächenalterung, durch die Sonnenbestrahlung, zum Beispiel an Satelliten, auftreten.<sup>4</sup>

Eine weitere Art von Weltraumschrott wird erzeugt, wenn beispielsweise Astronauten an der „*International Space Station*“ (ISS) Außenarbeiten durchführen müssen. Dabei kann es vorkommen, dass sie Werkzeuge wie Schraubenschlüssel oder auch Schrauben verlieren. Seit den Apollo-Missionen soll sogar ein Handschuh seine Bahn im Weltall ziehen.<sup>5</sup>

Ausgediente Satelliten, die keinerlei Bedeutung mehr für die Raumfahrt oder für die Erde haben, bewegen sich auch weiterhin auf ihren Bahnen. Weil es noch nicht möglich ist, bei Satelliten im All auf eine kostengünstige Art und Weise den Treibstoff nachzufüllen oder sie zu reparieren, werden sie als sogenannte „Einwegboxen“<sup>6</sup> konstruiert, die auf eine bestimmte Laufzeit ausgelegt sind und danach abgeschaltet und ausrangiert werden.

Eine zunehmende Gefahr besteht im Kaskadeneffekt, auch als Kessler- oder Schneeballeffekt bezeichnet. Da es insgesamt drei wichtige Orbits gibt, in denen sich besonders viele Satelliten befinden, ist auch der Weltraumschrott in diesen Regionen sehr verdichtet.

Dort kann es passieren, dass zwei Wrackteile miteinander kollidieren und dabei in zahlreiche kleinere Objekte zersplittern. Damit nimmt zwar die eigentliche Masse des Weltraumschrotts nicht zu, doch die Anzahl der einzelnen Teilchen, die eine potenzielle Gefahr für die Raumfahrt und die Satelliten darstellen, steigt. Und dadurch wiederum steigt auch die Wahrscheinlichkeit für weitere Kollisionen.<sup>7</sup>

Der vermutlich bekannteste Zusammenstoß eines Satelliten und eines Schrottobjekts ereignete sich im Februar 2009. Damals

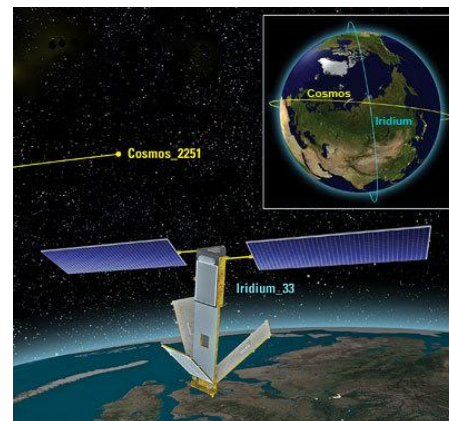


Abb. 2: Kollision des amerikanischen „Iridium 33“ und des russischen „Kosmos 2.251“

<sup>4</sup> Ebd.

<sup>5</sup> Vgl. <http://www.3sat.de/page/?source=/nano/astuecke/78433/index.html>; 24.09.2012

<sup>6</sup> Rackl, Wolfgang: Vortrag und Gespräch im DLR Oberpfaffenhofen, 13.07.2012

<sup>7</sup> Vgl. [http://en.wikipedia.org/wiki/Kessler\\_syndrome](http://en.wikipedia.org/wiki/Kessler_syndrome); 24.09.2012



kollidierten der amerikanische Kommunikationssatellit „Iridium 33“ und der ausgediente russische Aufklärungssatellit „Kosmos 2.251“ in einer Höhe von ungefähr 800 km über Sibirien. Dabei entstanden 1.832 neue, nachweisbare Schrottteile mit einer Größe von mindestens 10 cm, sowie etliche kleinere Objekte.<sup>8</sup>

Ferner wird Weltraumschrott durch Tests von Antisatellitenwaffen erzeugt. Dabei sollen gegnerische Satelliten meist durch Beschuss zerstört werden.

Das bekannteste Beispiel für einen solchen Test fand am 11. Januar 2007 statt. China überprüfte eine Mittelstreckenrakete auf ihre Eignung zur Antisatellitenwaffe. Dafür wurde der ausgediente chinesische Wettersatellit

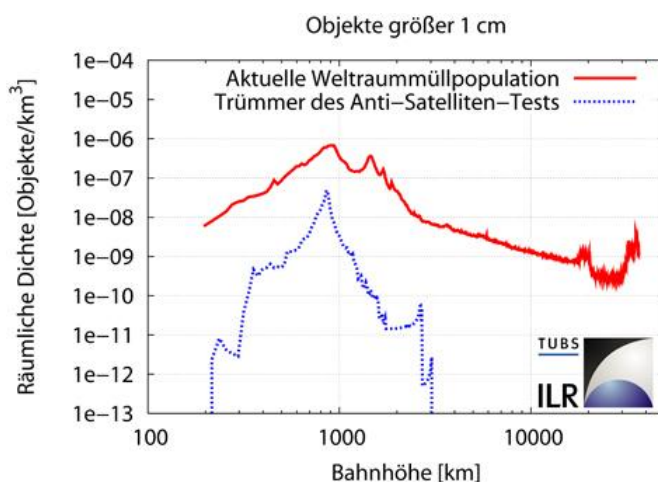


Abb. 3: Anzahl der Weltraumschrottteile nach dem chinesischem Test einer Antisatellitenwaffe

„Fengyun 1C“ in einer Höhe von 850 km absichtlich abgeschossen. Die Folge waren tausende neue Schrottteile auf Bahnen zwischen 400 und 2.000 km Höhe. Die Zahl der Schrottobjekte in diesen

Orbits stieg damals durch den Test sprunghaft an,<sup>9</sup> wie

Abbildung 3 zeigt. Besonders betroffen war der Orbit in einer Entfernung von knapp 1.000 km zur Erde.

#### **4 Auswirkungen des Weltraumschrotts auf die Raumfahrt**

Um die große Gefahr, die der Weltraumschrott für die Raumfahrt darstellt, zu verstehen, muss man die wichtigsten physikalischen Grundlagen kennen, die im Weltall herrschen und die Raumfahrt – und damit auch den Schrott – beeinflussen.

<sup>8</sup> Vgl. [http://www.esa.int/esaCP/SEMA7S7XZVG\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMA7S7XZVG_Germany_0.html); 24.09.2012

<sup>9</sup> Vgl. <http://www.bundestag.de/dokumente/analysen/2009/weltraummuell.pdf>; 24.09.2012

#### 4.1 Physikalische Grundlagen

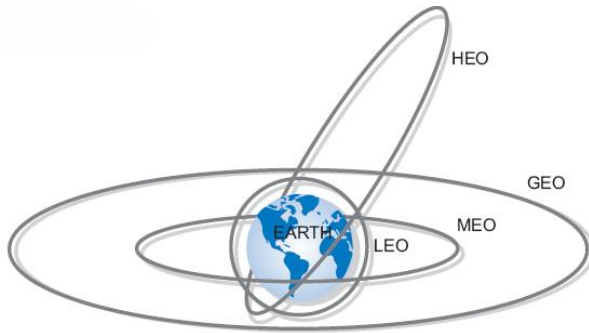


Abb. 4: Die Erdbahns;  
Der „Highly Elliptical Orbit“ (HEO) spielt für den Weltraumschrott keine bedeutende Rolle

Der „**Low Earth Orbit**“ (LEO) befindet sich in einer Höhe von ungefähr 400 – 1.200 km über dem Äquator und wird vor allem für die bemannte Raumfahrt und sowohl für Erdbeobachtungs- und Wettersatelliten, als auch für astronomische Satelliten, zum

Beispiel das Hubble-Teleskop, gebraucht.

Der „**Medium Earth Orbit**“ (MEO) befindet sich auf ungefähr 1.200 – 20.000 km Höhe. Auf circa 20.000 km sind die Kommunikations- und Navigationssatelliten angesiedelt.

Der „**Geostationary Orbit**“ (GEO) liegt auf fast exakt 36.000 km Höhe. Die Umlaufdauer eines Satelliten beträgt in diesem Orbit genau 24 Stunden. Von der Erde aus gesehen scheint der Satellit also still zu stehen. Dort arbeiten Satelliten, die für die Übertragung von Telefongesprächen sowie von Radio- und Fernsehprogrammen zuständig sind.

In diesen drei Orbits befinden sich nicht nur viele Satelliten, auch der Weltraumschrott ist hier sehr verdichtet. Gut 73% des Schrotts zieht seine Bahnen in einer Höhe von circa 800 bis 1.000 km. Diese 73% machen aber nur 40% der auf über 6.300 t geschätzten Gesamtmasse<sup>10</sup> des Abfalls aus. 33% der Masse befindet sich im

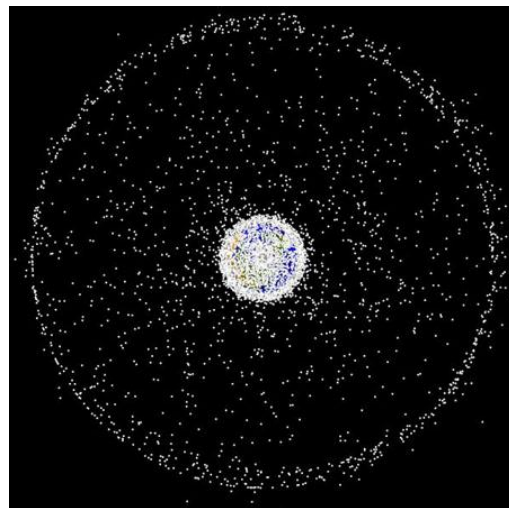


Abb. 5: Verteilung des Weltraumschrotts mit Blick auf den Nordpol

<sup>10</sup> Vgl. [http://www.esa.int/esaCP/SEMPTI5XPVG\\_Germany\\_2.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMPTI5XPVG_Germany_2.html); 24.09.2012

GEO, obwohl dort nur 8% der Trümmer gelagert sind.<sup>11</sup>


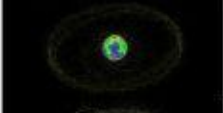

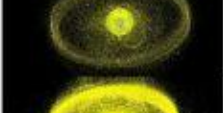

Stand 2005	Größe	Häufigkeit
	>10cm	15.000
	>5cm	44.000
	>1cm	600.000
	>1mm	150 Millionen
	>100µm	6 Billionen

Abb. 6: Größe und Häufigkeit der Weltraumschrottobjekte

Am 5. Oktober 2011 waren beim „US Space Surveillance Network“ (SSN) 16.108 Objekte gelistet, die größer als 10 cm sind.<sup>12</sup> Vermutet wird, dass es darüber hinaus weitere 7.000 Objekte gibt, die allerdings von US-Behörden geheim gehalten werden.<sup>13</sup> Die Summe der zwischen einem und zehn Zentimeter großen Teile beläuft sich auf ungefähr 750.000 Stück. Über 170 Millionen Teilchen sind

nicht einmal einen Zentimeter groß.<sup>14</sup> Gerade diese stellen aber ein besonderes Risiko für die heutige Raumfahrt dar: Mit einer Geschwindigkeit von durchschnittlich 8 km/s – das entspricht 28.800 km/h – besitzen selbst die kleinsten unter ihnen die Energie einer Handgranate. Bei einer zufälligen



Abb. 7: Einschlag eines kleinen Objekts in ein Solarpanel

Kollision zwischen einem aus der entgegengesetzten Richtung kommenden Satelliten und einem solchen Schrottteilchen entsteht eine Relativgeschwindigkeit von bis zu 14 km/s.<sup>15</sup> Das entspricht 50.400 km/h, ungefähr dem 17-fachen einer abgefeuerten Maschinengewehrku­gel.<sup>16</sup>

Bei solchen Geschwindigkeiten zerstören millimeterkleine Objekte ganze

<sup>11</sup> Vgl. <http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Der-Muell-im-All-wird-zur-Gefahr-fuer-die-Raumfahrt/48534/1>; 24.09.2012

<sup>12</sup> Vgl. [http://www.esa.int/esaCP/SEMPTI5XPVG\\_Germany\\_2.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMPTI5XPVG_Germany_2.html); 24.09.2012

<sup>13</sup> Vgl. <http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Der-Muell-im-All-wird-zur-Gefahr-fuer-die-Raumfahrt/48534/1>; 24.09.2012

<sup>14</sup> Vgl. [http://www.esa.int/esaCP/SEMPTI5XPVG\\_Germany\\_2.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMPTI5XPVG_Germany_2.html); 24.09.2012

<sup>15</sup> Vgl. [http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10212/332\\_read-2662/](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10212/332_read-2662/); 24.09.2012

<sup>16</sup> Vgl. <http://www.think-ing.de/specials/jahr-der-astronomie/ingenieure-und-astronomie/weltraumschrott>; 24.09.2012

Satelliten-Subsysteme, zum Beispiel das Kommunikationssystem, die Energieversorgung, oder die Lagesteuerung. Im schlimmsten Fall kann eine solche Kollision den Satelliten komplett unbrauchbar machen oder zum Abbruch der Mission führen.

#### **4.2 Beispielrechnung im LEO**

Anhand einer Beispielrechnung kann man sich die Größenverhältnisse, die im All herrschen, gut vor Augen führen. Im Folgenden werden die Bahngeschwindigkeit und die kinetische Energie eines Schrottobjekts berechnet.

Um die Bahngeschwindigkeit auszurechnen, die ein Schrottteil im LEO besitzt, braucht man folgende Formel:

$$v = r \times \frac{2\pi}{T}$$

V ist die zu berechnende Bahngeschwindigkeit, r der gewählte Radius mit  $r = 1.000 \text{ km}$ , und T die Umlaufdauer.

Die Umlaufdauer kann mit dem dritten Kepler-Gesetz  $\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$  berechnet werden. Es besagt, dass das Verhältnis der Umlaufdauer T, zum Quadrat genommen, geteilt durch die große Halbachse a hoch drei, bei allen Himmelskörpern eines Sonnensystems gleich ist.

Als Vergleichskörper für das Weltraumschrottobjekt kann der Mond genommen werden. Daraus ergibt sich folgende Formel:

$$T_{ws}^2 = \frac{T_m^2 \times a_{ws}^3}{a_m^3}$$

Die Umlaufdauer des Mondes beträgt  $T_m = 28 \text{ d}$ .

Die große Halbachse des Mondes ist  $a_m = 384.000 \text{ km}$  groß.

Die große Halbachse des Weltraumschrottteils ist  $a_{ws} = 6.368 \text{ km} + 1.000 \text{ km}$  groß, Erdradius plus Entfernung des Objekts von der Erdoberfläche.

In die Formel eingesetzt und ausgerechnet, erhält man eine Umlaufdauer von

$T_{ws} \approx 1,786 \text{ h}$ .

Setzt man diesen Wert in die Formel für die Bahngeschwindigkeit, so ergibt sich eine Geschwindigkeit von  $v \approx 25.921 \frac{km}{h}$ . Das sind ungefähr  $7,2 \frac{km}{s}$ .

Um die kinetische Energie auszurechnen, benötigt man folgende Formel:

$$E_{kin} = \frac{m \times v^2}{2}$$

V ist die oben berechnete Bahngeschwindigkeit des Objekts in Meter pro Sekunde, m die Masse in Kilogramm. Als Beispiel für die kinetische Energie eines kleinen Schrottteilchens sei die Masse  $m = 35 \text{ g} = 0,035 \text{ kg}$ .

Setzt man diese Daten in die Formel ein, erhält man eine kinetische Energie von 907.200 J, also 907.2 kJ.

Zum Vergleich sei die Masse  $m = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$ .

Daraus ergibt sich eine kinetische Energie von 2.592.000 J, oder auch 2.592 kJ.

### **4.3 Auswirkungen auf die ISS**

Die ISS bewegt sich in einer Höhe von 350 bis 400 km um die Erde. Die genaue Entfernung variiert auf Grund des natürlichen Bahnabstiegs.

Wegen ihrer relativ geringen Bahnhöhe ist die ISS nicht akut von Weltraumschrott bedroht. Doch obwohl sie sich nicht in der Höhe mit der höchsten



Abb. 8: Die ISS

Dichte des Schrotts befindet, weist sie überall millimetergroße Einschlaglöcher von Weltraummüll auf.<sup>17</sup>

Gegen diese Objekte, die kleiner als 1 cm sind, ist die ISS durch „Whipple Shields“ geschützt. Bei größeren Schrottteilen, die eine akute Gefahr darstellen, muss sie ausweichen. Zu solchen Bedrohungen können bei Außenarbeiten verlorene Gegenstände werden.

---

<sup>17</sup> Vgl. <http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Der-Muell-im-All-wird-zur-Gefahr-fuer-die-Raumfahrt/48534/1>; 24.09.2012

Ein Schraubenschlüssel zum Beispiel, den ein Astronaut aus Versehen losgelassen hat, würde sich mit der gleichen Geschwindigkeit weiterbewegen, die er schon hatte, als er noch in der ISS verstaubt war. Das heißt, er hätte fast die gleiche Geschwindigkeit, die die ISS auch hat. Außerdem würde er wegen des Impulses, der von der ISS ausging, die ungefähre Bahn der ISS beibehalten.<sup>18</sup>

Er würde die ISS praktisch „verfolgen“. Das wäre sehr gefährlich für die ISS, da die Wahrscheinlichkeit einer Kollision erheblich stiege. Deshalb wird sehr darauf geachtet, dass so etwas nicht mehr vorkommt.

#### **4.4 Auswirkungen auf Satelliten**



Abb. 9: Der Satellit ENVISAT

Satelliten sind durch Weltraumschrott direkt gefährdet, da sie sich in den Orbits befinden, wo jeweils auch besonders viel Weltraumschrott ist.

Deshalb müssen die aktiven Satelliten genauestens überwacht werden. Sobald eine potentielle Kollisionsgefahr entsteht, müssen sie ausweichen.

### **5 Schutzmaßnahmen vor Kollisionen**

Um Satelliten und die ISS vor den verheerenden Folgen einer Kollision selbst mit kleinsten Stücken Weltraumschrott zu schützen, wurden verschiedene Sicherheitsmaßnahmen entwickelt.

#### **5.1 Katalogisierung und Ausweichen**

Die Weltraumschrottobjekte, die mindestens zehn Zentimeter groß sind, können von der Erde aus durch Radare und Teleskope überwacht werden.

---

<sup>18</sup> Vgl. <http://news.astronomie.info/sky200710/thema.html>; 4.10.2012

### **5.1.1 Katalog der NASA**

Die USA haben zu diesem Zweck das SSN als Untereinheit des „**US Space Command**“ (USSPACECOM) geschaffen. Seit das USSPACECOM 2002 mit dem „**US Strategic Command**“ (USSTRATCOM) zusammengelegt wurde, gehört das SSN auch zum USSTRATCOM.

In einer Höhe von weniger als 5.000 km werden Schrottobjekte besonders effektiv mittels Radaranlagen aufgefunden. Teleskope hingegen werden für größere Entfernungen und den geostationären Orbit eingesetzt.<sup>19</sup>

Derzeit besitzt das SSN 18 Radaranlagen und 8 Teleskope.<sup>20</sup> In einem Katalog werden die Bahndaten von circa 15.000 Schrottteilen aufgeführt. Doch es besteht Grund zu der Vermutung, dass die Daten von 7.000 weiteren Objekten von US-Behörden gesammelt und geheim gehalten werden.<sup>21</sup> Die „**National Aeronautics and Space Administration**“ (NASA) greift auf den SSN-Katalog zurück.

### **5.1.2 Katalog der ESA**

Die „**European Space Agency**“ (ESA) besitzt eine eigene Datenbank, die das Datenerfassungssystem „**Database and Information System Characterising Objects in Space**“ (DISCOS) verwendet. Zur Verfügung gestellt wird DISCOS vom „**European Space Operations Center**“ (ESOC), dem europäischen Kontrollzentrum der ESA.

Dieser Katalog wurde auf Grundlage der Daten des USSTRATCOM aufgebaut und bezieht jetzt Daten von verschiedenen Radaranlagen und Teleskopen. Das deutsche Radar der Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e.V. (FGAN) in Wachtberg bei Bonn ist eine wichtige Quelle für Daten. Ebenso liefert das Teleskop der ESA auf Teneriffa viele Informationen, denn es kann Schrottteile im GEO in 36.000 km Entfernung finden,



**Abb. 10: Teleskop der ESA auf Teneriffa**

<sup>19</sup> Vgl. <http://www.raumfahrer.net/raumfahrt/raumsonden/Weltraumschrott.shtml>; 24.09.2012

<sup>20</sup> Vgl. [http://de.wikipedia.org/wiki/Space\\_Surveillance\\_System](http://de.wikipedia.org/wiki/Space_Surveillance_System); 04.11.2012

<sup>21</sup> Vgl. <http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Der-Muell-im-All-wird-zur-Gefahr-fuer-die-Raumfahrt/48534/1>; 24.09.2012

die zwischen zehn und fünfzehn Zentimetern groß sind.<sup>22</sup>

Diese Datenbasis dient vor allem dem Schutz der zwei Erdbeobachtungssatelliten ENVISAT („*Environmental Satellite*“) und ERS-2 („*European Remote Sensing Satellite*“).<sup>23</sup> Sie befinden sich ungefähr auf einer Höhe von 780 bis 790 km über dem Äquator. Um mögliche Kollisionen mit Weltraumschrottteilchen zu verhindern, werden die Bahnen der Schrottteile mit denen der Satelliten mittels Computer abgeglichen. Im ESOC in Darmstadt werden jeden Tag automatisch eMails verschickt, die vor möglichen Kollisionen warnen. Ein manuelles Ausweichmanöver muss aber erst bei einer Kollisionswahrscheinlichkeit von 1 zu 10.000 oder größer eingeleitet werden.<sup>24</sup>

### **5.1.3 Ausweichen**

Für den Fall, dass ein Satellit einem Schrottteil ausweichen müsste, wird eine zusätzliche Menge an Treibstoff mit einkalkuliert, der nur für Ausweichmanöver verwendet werden darf. Der betroffene Satellit wird leicht von seiner Bahn abgelenkt, so dass eine Kollision vermieden werden kann.

Für die ISS muss kein Treibstoff für Ausweichmanöver eingeplant werden, denn sie wird immer wieder mit Treibstoff „beliefert“.<sup>25</sup>

Ausweichen musste die ISS bislang bereits neun Mal. Das jüngste Ausweichmanöver flog sie am 04.10.2012, weil sie einem Schrottobjekt eines japanischen Satelliten ausweichen musste. Dafür wurden am Morgen des 04.10. die Raketen am russischen Modul „Swesda“ gezündet.<sup>26</sup>

## **5.2 „Whipple Shields“**

Das sogenannte „Whipple Shield“ ist nach dem Amerikaner Fred Whipple benannt, der es 1946 erfunden hat. Das Whipple Shield soll die Außenwand von

---

<sup>22</sup> Vgl. <http://www.helles-koepfchen.de/artikel/1203.html>; 24.09.2012

<sup>23</sup> <http://www.raumfahrer.net/raumfahrt/raumsonden/Weltraumschrott.shtml>; 24.09.2012)

<sup>24</sup> Vgl. <http://www.raumfahrer.net/raumfahrt/raumsonden/Weltraumschrott.shtml>; 24.09.2012

<sup>25</sup> Vgl. <http://www.bundestag.de/dokumente/analysen/2009/weltraummuell.pdf>; 24.09.2012

<sup>26</sup> Weltraumschrott - Die ISS muss ausweichen, in: Münchner Merkur Nr. 229 vom 04.10.2012, S. 26



Raumfahrzeugen vor Durchschlägen schützen. Mittlerweile gibt es sehr viele verschiedene Arten von Whipple Shields. Alleine die ISS ist mit mehr als 200 verschiedenen Arten geschützt. Doch das Prinzip ist bei allen das gleiche.

Das einfachste und allen anderen zu Grunde liegende Whipple Shield besteht aus einem „bumper“ und der eigentlichen Außenwand des Raumfahrzeugs. Der „bumper“ umgibt die Außenwand, sodass zwischen den beiden Schichten ein kleiner Hohlraum entsteht. Der „bumper“ besteht meistens aus Aluminium.

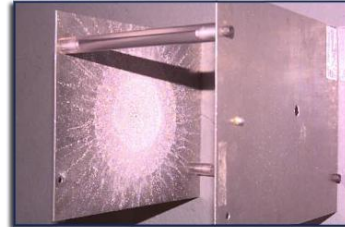


Abb. 11: „Whipple Shield“

Auftreffende Objekte werden durch ihn abgefangen und gebremst und zu einer kleinen Wolke aus winzigen Schrottteilchen pulverisiert. Diese Wolke kann der Außenwand des Raumfahrzeugs keinen Schaden mehr zufügen.

Eine häufig eingesetzte Variante des „Whipple Shield“ ist das „Stuffed Whipple Shield“, da es mehr Schutz für die Außenwand bietet als das einfache.

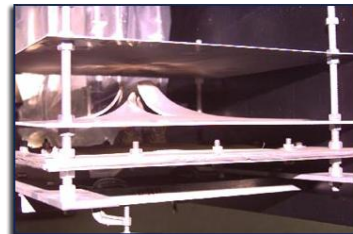


Abb. 12: „Stuffed Whipple Shield“

Das „Stuffed Whipple Shield“ ist prinzipiell wie das einfache „Whipple Shield“ aufgebaut, aber zwischen dem „bumper“ und der Außenwand sind zwei weitere Schichten eingefügt. Eine dieser Schichten besteht aus Kevlar, einer hoch strapazierfähigen Kunstfaser. Sie ist wärme- und kältebeständig, sehr leicht, aber trotzdem fest. Kevlar wird zum Beispiel zu kugelsicheren Westen verarbeitet.<sup>27</sup> Die andere Schicht besteht aus Nextel, einer gewebten Keramikfaser.

Beide Schichten dienen zur zusätzlichen Abbremsung und Pulverisierung des Objekts, so dass die Teilchen, die auf die Außenwand auftreffen, kaum noch Energie besitzen, mit der sie sie beschädigen könnten.

Das „Multi-Shock Shield“ ist eines der Verbreitetsten. Es besteht aus mehreren Lagen Nextel, die in einer bestimmten

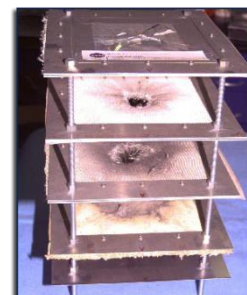


Abb. 13: „Multi-Shock-Shield“

<sup>27</sup> Vgl. <http://www.protherm-ag.ch/d/hitzeschutz/kevlar.htm>; 10.10.2012

Entfernung von einander angebracht sind. Auch dieses „*Whipple Shield*“ soll auftreffende Schrottteile bremsen und zu einer Schrottwolke pulverisieren, die kaum noch Energie besitzt, wenn sie durch alle Nextel-Schichten hindurch auf die Außenwand trifft.<sup>28,29</sup>

## **6 Weltraumrecht**

Im Jahr 1959, zwei Jahre nach dem Start von Sputnik 1 am 4. Oktober 1957, wurde von der Generalversammlung der Vereinten Nationen (UNO) ein ständiger Weltraumausschuss mit dem Namen „*Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*“ (COPUOS) gegründet. Seine Aufgabe war es, eine internationale Rechtsordnung bezüglich des Weltraums, das Weltraumrecht, auszuarbeiten. Das COPUOS besteht aus einem Hauptausschuss, einem wissenschaftlich-technischen Unterausschuss (WTUA) und einem Rechtsunterausschuss (RUA). Mit der steigenden Bedrohung durch Weltraumschrott setzt sich zur Zeit der WTUA auseinander, während sich der RUA mit der rechtlichen Seite des Problems befasst.<sup>30</sup>

### **6.1 Erster Weltraumvertrag**

Der erste **Weltraumvertrag** (WRV) wurde 1967 geschlossen. Ihm gehören derzeit 100 Länder, auch Deutschland, an. In ihm sind bestimmte Regeln für die Weltraumaktivitäten von Staaten festgelegt. Es wird auch bestimmt, wer für Schäden, die durch die Raumfahrt entstehen, haften muss.

Die Staaten, die auf ihrem Territorium ein Raumfahrzeug in den Weltraum starten, starten lassen oder es Dritten für Starts zur Verfügung stellen, haften für die Schäden, die durch dieses Objekt auf der Erde, im Luftraum oder im Weltall durch fahrlässiges Handeln entstehen.

---

<sup>28</sup> Vgl. <http://ares.jsc.nasa.gov/ares/hvit/basic.cfm>; 10.10.2012

<sup>29</sup> Vgl. [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/Whipple\\_shield.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/Whipple_shield.html); 04.11.2012

<sup>30</sup> Vgl. [http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/InternatRecht/Einzelfragen/Weltraumrecht/Uebersicht\\_node.html](http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/InternatRecht/Einzelfragen/Weltraumrecht/Uebersicht_node.html); 29.09.2012

1972 wurde ein Ergänzungsvertrag abgeschlossen, der die angemessenen Schadensersatzansprüche für durch Weltraumgegenstände entstandene Schäden regelt.

In Deutschland wird seit 2010 an einem Weltraumgesetz gearbeitet, das die nationalen Grundlagen wie Kontroll- oder Haftungsmaßstäbe für die Raumfahrt konkretisieren soll.<sup>31</sup>

## 6.2 Richtlinien bezüglich Weltraumschrotts

Im Jahr 1993 wurde außerdem das „*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*“ (IADC) geschaffen, dem die Raumfahrtagenturen von China, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Indien, Italien, Japan, Russland, Ukraine, der USA, der ESA<sup>32</sup> und der NASA angehören und in dem auch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mitwirkt.<sup>33</sup>

Dieses Komitee hat 2002 allgemeine Richtlinien zur Verminderung von Weltraumschrott verfasst, wodurch „... die Nutzer der Erdumlaufbahn verpflichtet [werden], die kommerziell sehr wertvollen Zonen des niedrigen Erdborbits und der geostationären Umlaufbahnen zu schützen.“<sup>34</sup>

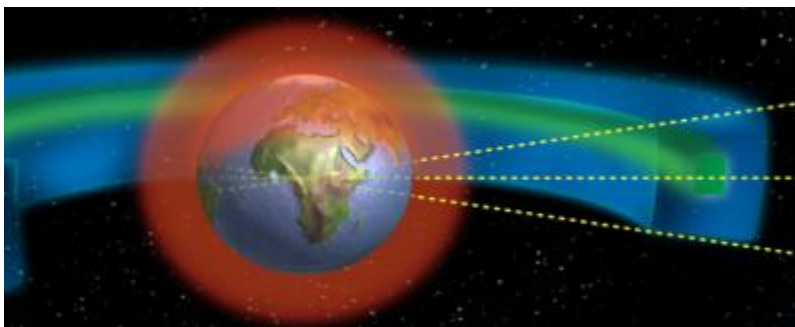


Abb. 14: Vom IADC empfohlene, zu schützende Orbits

Abbildung 12 ist eine graphische Darstellung der zu schützenden Orbits nach den IADC Richtlinien: der LEO (rot),

sowie der GEO bei einer Inklination von 0° (grün), bis zu einer Inklination von ±15° (blau).

<sup>31</sup> Ebd.

<sup>32</sup> <http://www.raumfahrer.net/raumfahrt/raumsonden/Weltraumschrott.shtml>; 24.09.2012

<sup>33</sup> <http://www.bundestag.de/dokumente/analysen/2009/weltraummuell.pdf>; 24.09.2012

<sup>34</sup> <http://www.raumfahrer.net/raumfahrt/raumsonden/Weltraumschrott.shtml>; 24.09.2012

Auf Grundlage dieser Richtlinien hat die UNO 2007 Richtlinien zu Verringerung des Weltraumschrotts verabschiedet, die allerdings auf freiwilliger Basis stehen.

## **7 Maßnahmen zur Verminderung von Weltraumschrott**

„Die Zunahme des Weltraummülls kann langfristig dazu führen, dass bestimmte Orbits für die Raumfahrt [...] nicht mehr genutzt werden können.“, sagt Heiner Klinkrad, Leiter des „*Space Debris Office*“ der ESA.<sup>35</sup> Um diese Folge der Raumfahrt zu vermeiden, gibt es diverse Überlegungen zur effektiven Verringerung von Weltraumschrott.

Im Folgenden werden die am weitesten vorangeschrittenen Entwicklungen von Maßnahmen gegen den Weltraumschrott vorgestellt.

### **7.1 Vermeidung**

Das wahrscheinlich naheliegendste Mittel, um die Zunahme der Weltraumschrottmasse im Orbit zu verringern, ist, ihn gar nicht erst entstehen zu lassen. Doch so einfach diese Strategie klingt, so schwer umsetzbar ist sie. Denn einige „Nebenwirkungen“ der Raumfahrt sind unvermeidbar, zum Beispiel das Absplintern von Farb- und Lackpartikeln.

Doch andere Quellen der Müllzeugung können einfach behoben werden: Das Werkzeug von Astronauten wird mittlerweile fast immer mit dünnen Fäden befestigt, so dass es nicht verloren werden kann.

### **7.2 Kontrollierter Absturz**

Eine Methode, die bei großen Objekten wie Raketenoberstufen oder Satelliten, die sich in erdnahen Orbits befinden angewandt wird, ist der kontrollierte Absturz. Dabei wird das Objekt durch gezielte Bremschübe mittels

---

<sup>35</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Weltraumm%C3%BCll>; 04.11.2012

Treibstoffresten gebremst, so dass es immer weiter absinkt. Bei Wiedereintritt in die Erdatmosphäre verglüht es schließlich größtenteils, bis auf einige Trümmer.

Die Menge dieser Trümmer hängt von der Größe, der Masse, der Struktur und vom Material des ursprünglichen Objekts ab.<sup>36</sup>

Für die Trümmer wird ein ungefährer Zielort avisiert. Wenn die Bremsschübe richtig eingesetzt werden, erreichen die Trümmer das angepeilte Ziel.

Dieses Ziel liegt meist im Meer, da die Trümmer dann keine personellen oder materiellen Schäden verursachen können. Deshalb ist der gezielte Absturz relativ sicher.

Die russische Raumstation MIR zum Beispiel wurde im März 2001 zum kontrollierten Absturz gebracht. Die nicht verglühten Reste fielen am avisierten Zielort südöstlich der Fidschi-Inseln ins Meer.<sup>37</sup>

### 7.3 Friedhofsorbit

Das Katapultieren ausrangierter Satelliten aus dem GEO in den Friedhofsorbit ist eine weitere Möglichkeit. Der Friedhofsorbit liegt circa 300 km über dem GEO,

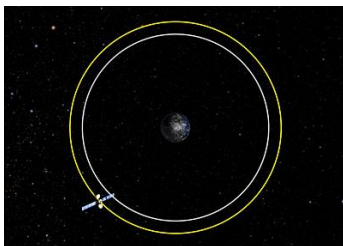


Abb. 15: Friedhofsorbit; künstlerische Darstellung, übertriebene Größe des Weltraumschrotts im Verhältnis zur Erde

also in einer Höhe von 36.300 km über dem Äquator. Am Ende der Lebensdauer eines Satelliten im GEO soll genug Treibstoff aufgehoben werden, um seine Geschwindigkeit um 11 m/s anzuheben, wodurch seine Entfernung zur Erde um 300 km



Abb. 16: Beschleunigung in den Friedhofsorbit; künstlerische Darstellung, übertriebene Größe des Weltraumschrotts im Verhältnis zur Erde

vergrößert würde.<sup>38</sup> Andererseits würde der dafür benötigte Treibstoff ausreichen, um den Satelliten weitere drei Monate betreiben zu können. Die Arbeitszeit des Satelliten würde sich also verkürzen

<sup>36</sup> Vgl. [http://www.esa.int/esaCP/SEMMAJ5XPVG\\_Germany\\_2.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMMAJ5XPVG_Germany_2.html); 24.09.2012

<sup>37</sup> Vgl. [http://www.raumfahrtmuseum.at/das\\_ende\\_der\\_mir.html](http://www.raumfahrtmuseum.at/das_ende_der_mir.html) (Stand: 4.10.2012)

<sup>38</sup> Vgl. [http://www.esa.int/esaCP/SEMA96N5NDF\\_Germany\\_mg\\_13\\_s\\_b.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMA96N5NDF_Germany_mg_13_s_b.html); 28.10.2012

und einen wirtschaftlichen Nachteil für die Satellitenbetreiber mit sich bringen.<sup>39</sup> Deshalb hält sich weniger als die Hälfte der Betreiber daran, zumal es bisher noch keine bindenden Vorschriften diesbezüglich gibt, sondern nur Richtlinien.

Im Jahr 2006 ließ die ESA von zwei Konsortien je eine Lösung für die kostengünstige Entsorgung ausgedienter Satelliten in den Friedhofsorbit erarbeiten. Das Team unter der Führung der Astrium, einer Tochtergesellschaft der „*European Aeronautic Defense and Space Company*“ (EADS), entwickelte einen Satelliten, der einen anderen Satelliten mit Netzen einfangen und in den Friedhofsorbit ziehen kann.

Das zweite Team, unter der Führung des britischen Unternehmens QuinetiQ, präsentierte einen Satelliten, der einen ausfahrbaren Arm hat, an dessen Ende eine Art Tentakel sitzt, der den ausgedienten Satelliten greifen und in den Friedhofsorbit befördern kann.<sup>40</sup>

#### **7.4 Laser**

Im Zuge der Entwicklung eines Systems, das Weltraumschrott erfassen und vermessen kann, wurde am Anfang dieses Jahres vom DLR, in Zusammenarbeit mit der Laserstation Graz des Instituts für Weltraumforschung (IWF) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW), ein Hochleistungslaser erfolgreich getestet. Er sendet Pulse aus und erfasst dadurch auch Objekte, die nur wenige Zentimeter groß sind. Beim Test im All vermaß er insgesamt 20 Raketenteile, die eine Gesamtgröße von mehreren Metern hatten, und nahm deren Entfernung zur Erde auf.

Prof. Adolf Giesen, Leiter des DLR-Instituts für Technische Physik, sieht seine Ideen damit bestätigt. Geplant ist die Erstellung eines Katalogs, der vor allem kleine Schrottteile enthält.

Danach könnte ein weiterer Laser die Schrottteilchen vernichten. Wenn er auf ein Weltraumschrottteil trifft, bringt er das Material an der Oberfläche zum

---

<sup>39</sup> Vgl. <http://www.helles-koepfchen.de/artikel/1203.html>; 24.09.2012

<sup>40</sup> Vgl. <http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Der-Muell-im-All-wird-zur-Gefahr-fuer-die-Raumfahrt/48534/1>; 24.09.2012

Verdampfen. Dadurch wird das Teilchen langsamer. Innerhalb weniger Jahre würde es absinken und durch die Reibung mit den zahlreicher werdenden Atmosphärenteilchen verglühen.<sup>41</sup>

### **7.5 Metallwolke**

Um die größeren Weltraumschrottteilchen aus dem All zu entfernen, haben Gurudas Ganguli und seine Kollegen vom „*US Naval Research Laboratory*“ 2011 die Methode der Metallwolke entwickelt.

Raketen sollen circa 20 Tonnen Staub des Schwermetalls Wolfram in den Weltraum in eine Höhe von 900 – 1.100 km befördern und dort freisetzen. Die Staubpartikel, die nur 30 Millionstel Meter,  $3 \times 10^{-8}$  m, groß sind, würden sich gleichmäßig im Orbit verteilen und an die Schrottteile heften. Diese würden dadurch schwerer werden und innerhalb einiger Jahre deutlich an Höhe verlieren, bis sie schließlich in der Atmosphäre verglühen.

Auf aktive Satelliten im LEO hat die Staubwolke, laut Ganguli, keinen Einfluss. Die Dichte der Staubpartikel sei für die „Räumarbeiten“ hoch genug, doch Satelliten würden nicht gestört werden.

Es ist allerdings noch nicht geklärt, in wieweit die Staubwolke erdgestützten Teleskopen den Blick ins All erschweren würde.

Insofern ist die Metallwolke noch nicht einsatzfähig.<sup>42</sup>

### **7.6 Einsammeln durch Spaceshuttle**

Um ausgediente Satelliten wieder auf die Erde zurück zu bringen, wurde die Methode des Einsammelns durch eine Spaceshuttle vorgeschlagen.

Doch die Kosten dafür waren immens: ein Flug kostete ungefähr 100 Millionen \$. Keine Raumfahrtagentur war bereit, diesen Preis zu zahlen. Außerdem wäre es

---

<sup>41</sup> Vgl. [http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10212/332\\_read-2662/](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10212/332_read-2662/); 24.09.2012

<sup>42</sup> Vgl. [http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Metallwolke\\_soll\\_Weltraummuell\\_aus\\_dem\\_Orbit\\_raeumen1771015587553.html](http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Metallwolke_soll_Weltraummuell_aus_dem_Orbit_raeumen1771015587553.html); 03.10.2012

sehr schwer gewesen, mit dem Spaceshuttle an den Satelliten anzudocken. Das Risiko einer Kollision war sehr hoch.

Am 21. Juli 2011 landete das Shuttle Atlantis, womit die Zeit der Spaceshuttles zu Ende ging.<sup>43</sup> Es hat nie einen Satelliten zur Erde transportiert.

## **8 Schluss**

Allgemein ist festzuhalten, dass das Erzeugen von Weltraumschrott, dem Abfallprodukt der Raumfahrt, unumgänglich ist.

Auch wenn es heutzutage vielfältige Schutzmaßnahmen für Raumflugkörper gibt, darf das Problem nicht vernachlässigt werden, da es sich anderenfalls in einigen Jahren verselbstständigen könnte. Die Entwicklung von Maßnahmen zur aktiven Verringerung des Weltraumschrotts hat zwar schon begonnen, steht aber noch ganz am Anfang ihrer Möglichkeiten.

In den nächsten Jahren wird sich im Bereich der Schrottreduktion im All ein großer Markt auf tun. Denn die Bedrohung, die der Weltraumschrott für uns alle darstellt, darf nicht unterschätzt werden.

---

<sup>43</sup> Vgl. [http://de.wikipedia.org/wiki/Space\\_Shuttle](http://de.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle); 04.11.2012



### **Nachwort**

In dem halben Jahr, während dem ich mich ausführlich mit dem Thema Weltraumschrott auseinandergesetzt habe, bin ich zu vielfältigen Erkenntnissen gekommen:

Das Problem des Weltraumschrotts ist fast niemandem bekannt.

Immer, wenn ich jemandem das Thema meiner Seminararbeit genannt habe, musste ich einige erklärende Worte anhängen, um von meinem verwunderten Gegenüber ein verstehendes Nicken zu ernten.

Doch oftmals wurden mir danach Fragen zu meinem Thema gestellt, die zeigten, dass mein Gesprächspartner durchaus interessiert war.

Mir stellte sich die Frage, warum nur so wenige Menschen überhaupt vom Weltraumschrott wissen, wo es doch ein wichtiges und großes Thema ist.

Über meiner Recherche bin ich zu dem Schluss gekommen, dass es nachwievor in den Nachrichten zu kurz kommt. Obwohl es seit Jahren als Problem anerkannt ist, haben viele Menschen, die Einfluss auf den Bekanntheitsstaus nehmen könnten, immer noch nicht realisiert, wie wichtig es ist, in der weltweiten Bevölkerung das Wissen um den Schrott zu verbreiten.

Mir scheint, dass es einen kleinen „verschworenen“ Kreis der Bescheid-Wisser gibt, die allerdings nicht sonderlich darauf erpicht sind, an die Öffentlichkeit zu treten, außer vielleicht Heiner Klinkrad.

Und es gibt zu wenige Bücher! Ein Fachbuch für 203,25 € empfinde ich als abschreckend.

*Katharina Rieke*

# ***Anhang***

**Glossar:**

Apollo-Missionen:

Die ~ wurden von der NASA zwischen 1961 und 1972 betrieben und brachten den ersten Menschen auf den Mond

Bahngeschwindigkeit:

Die ~ ist die Geschwindigkeit, mit der sich ein Objekt im Weltall um die Erde bewegt

Bahnhöhe:

Die ~ ist die Höhe, in der sich ein Raumflugkörper über der Erde bewegt

„*Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*“ (COPUOS):

Das ~ ist ein dauerhafter Weltraumausschuss, dessen erste Aufgabe es war, eine internationale Rechtsordnung bezüglich des Weltraums auszuarbeiten

„*Database and Information System Characterising Objects in Space*“ (DISCOS):

Das ~ ist ein Datenerfassungssystem, das von der ESA zur Katalogisierung der Weltraumschrottobjekte verwendet wird

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik (DLR):

Das ~ ist das deutsche Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt, das auch für die deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig ist

ENVISAT („*Environmental Satellite*“):

Der ~ ist ein Umweltsatellit der ESA

Erste kosmische Geschwindigkeit:

Die Kreisbahngeschwindigkeit in Höhe der Erdoberfläche; 7,9 km/s

ERS-2 („European Remote Sensing Satellite“):

Der ~ ist ein Erdbeobachtungssatellit der ESA

„European **A**eronautic **D**efense and **S**pace Company“ (EADS):

Die ~ besteht aus vier Unternehmen, die auf ihrem Gebiet Marktführer sind:

Airbus als Hersteller von Verkehrs- und Militärflugzeugen

Astrium als Raumfahrtunternehmen

Cassidian als Helfer für zivile Sicherheit und Streitkräfte

Eurocopter als Hersteller von zivilen und militärischen Helikoptern

„European **S**pace **A**gency“ (ESA):

Europäische Raumfahrtagentur

„European **S**pace **O**perations **C**enter“ (ESOC):

Kontrollzentrum der ESA

Feststofftriebwerke:

~ verbrennen festen Treibstoff, die Physik des Antriebs ist jedoch die selbe wie bei Triebwerken mit flüssigem Treibstoff

Friedhofsorbit:

Ein Orbit, der sich in einer Höhe von 36.300 km über dem Äquator befindet

Große Halbachse:

Die große Halbachse der elliptischen Bahn eines Raumflugkörpers

Inklination:

Unter ~ versteht man den Winkel, in dem ein Objekt zum Äquator steht

„*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*“ (IADC):

Das ~ ist ein Komitee, das sich mit den Raumfahrtaktivitäten, die mit Weltraumschrott in Verbindung stehen, auseinandersetzt

„*International Space Station*“ (ISS):

Internationale Raumstation;

Die ~ ist eine bemannte Raumstation, die von verschiedenen Staaten betrieben und ausgebaut wird

Kinetische Energie:

Die ~ ist die Bewegungsenergie eines Objekts, das heißt, die Energie, die ein Objekt auf Grund seiner Bewegung besitzt

„*National Aeronautics and Space Administration*“ (NASA):

Die ~ ist die Raumfahrtagentur der USA

Natürlicher Bahnabstieg:

Der ~ bezeichnet die Abbremsung eines Objekts im Weltall durch die Atmosphärenteilchen

Orbit:

Ein ~ ist die Umlaufbahn eines Objekts um einen Himmelskörper

„*Space Debris*“:

Weltraumschrott

„*Space Debris Office*“ der ESA:

Das ~ beschäftigt sich mit allen wichtigen Aspekten, wie Forschung oder Technologie, rund um Weltraumschrott

Spaceshuttle:

Das ~ war eine Raumfähre, die von der NASA entwickelt und betrieben wurde

Sputnik 1:

~ wurde am 4. Oktober 1957 von der Sowjetunion als erste Mission ins Weltall gestartet

Umlaufdauer:

Die ~ ist die Zeit, die ein Raumflugkörper benötigt, um die Erde einmal zu umrunden

„**United Nations Organisation**“ (UNO):

Vereinte Nationen

„**US Naval Research Laboratory**“:

Das ~ ist das Forschungszentrum der US Navy, das sich mit Entwicklung und Forschung im naturwissenschaftlichen Bereich beschäftigt

„**US Space Command**“ (USSPACECOM):

Das ~ war eine Einheit des „**US Department of Defense**“, die sich mit der Nutzung des Weltraums durch die „**US Armed Forces**“ beschäftigte

„**US Space Surveillance Network**“ (SSN):

Das ~ ist eine Untereinheit des USSTRATCOM, das alle Objekte in Erdorbits aufspüren, katalogisieren und identifizieren soll

„**US Strategie Command**“ (USSTRATCOM):

Das ~ ist verantwortlich für die Verwaltung der Atomstreitkräfte der USA und für die Weltraumaktivitäten

**Abkürzungsverzeichnis:**

COPUOS	Committee on the Peaceful Uses of Outer Space
DISCOS	Database and Information System Characterising Objects in Space
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
ENVISAT	Environmental Satellit
ERS – 2	European remote sensing satellite
ESA	European Space Agency
ESOC	European Space Operations Centre
FGAN	Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e.V.
GEO	Geostationary Orbit
HEO	Highly Elliptical Orbit
IADC	Inter-Agency Space Debris Coordination Committee
ISS	International Space Station
IWF	Institut für Weltraumforschung
LEO	Low Earth Orbit
MEO	Medium Earth Orbit
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ÖAW	Österreichische Akademie der Wissenschaften
RUA	Rechtsunterausschuss
SSN	US Space Surveillance Network
UNO	United Nations Organisation, Vereinte Nationen
USSPACECOM	US Space Command
USSTRATCOM	US Strategic Command
WRV	Weltraumvertrag
WTUA	Wissenschaftlich-technischer Unterausschuss

**Quellen- und Literaturverzeichnis:**

Art. „Raumfahrt“, in: Der Jugendbrockhaus, Band 3, Mannheim 2005

Auswärtiges Amt (Hrsg., 2011): Weltraumrecht. [http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/InternatRecht/Einzelfragen/Weltraumrecht/Uebersicht\\_node.html](http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/InternatRecht/Einzelfragen/Weltraumrecht/Uebersicht_node.html) (Stand: 29.09.2012)

Bayley, Bruno: Weltraummüll hält uns vielleicht für immer auf der Erde fest  
[http://www.vice.com/de/read/weltraummull-halt-uns-vielleicht-fur-immer-auf-der-erde-fest-0000303-v8n9/?utm\\_source=vicefb](http://www.vice.com/de/read/weltraummull-halt-uns-vielleicht-fur-immer-auf-der-erde-fest-0000303-v8n9/?utm_source=vicefb) (Stand: 24.09.2012)

Boeing (Hrsg.): „Orbital Express“  
[http://www.boeing.com/bds/phantom\\_works/orbital.html](http://www.boeing.com/bds/phantom_works/orbital.html) (Stand: 24.09.2012)

BR (Hrsg., 2012): Weltraummüll – Rasend schnell und sehr gefährlich  
<http://www.br.de/themen/wissen/weltraumschrott102.html> (Stand: 24.09.2012)

Deutsches Museum (Hrsg., 2012): Müll im All  
<http://www.deutsches-museum.de/bonn/presse/presse-2012/muell-im-all/> (Stand: 24.09.2012)

DLR (Hrsg.): Das DLR im Überblick  
[http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10443/637\\_read-251/](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10443/637_read-251/) (Stand: 04.11.2012)

DLR (Hrsg., 2012): Weltraumschrott im Fokus  
[http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10212/332\\_read-2662/](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10212/332_read-2662/) (Stand: 24.09.2012)



EADS (Hrsg.): EADS auf einen Blick

<http://www.eads.com/eads/germany/de/unser-unternehmen/EADS-auf-einen-Blick.html>

(Stand: 04.11.2012)

„*Encyclopedia of World Biography*“ (Hrsg.): Fred L. Whipple

<http://www.notablebiographies.com/newsmakers2/2005-Pu-Z/Whipple-Fred-L.html>

(Stand: 04.11.2012)

ESA (Hrsg.): „*ESA Space Debris Office*“

[http://www.esa.int/SPECIALS/Space\\_Debris/SEMCIL05VQF\\_0.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Space_Debris/SEMCIL05VQF_0.html) (Stand: 04.11.2012)

ESA (Hrsg., 2011): Was ist Weltraummüll?

[http://www.esa.int/esaCP/SEMPTI5XPVG\\_Germany\\_2.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMPTI5XPVG_Germany_2.html) (Stand: 24.09.2012)

ESA (Hrsg.): Weltraummüll – eine Evolution in Bildern

[http://www.esa.int/esaCP/SEMA96N5NDF\\_Germany\\_mg\\_13\\_s.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMA96N5NDF_Germany_mg_13_s.html) (Stand: 28.10.2012)

ESA (Hrsg., 2011): Weltraummüll: Ein „überirdisches Problem“

[http://www.esa.int/esaCP/SEMA7S7XZVG\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMA7S7XZVG_Germany_0.html) (Stand: 24.09.2012)

ESA (Hrsg. 2011): Wie gefährlich ist der Schrott?

[http://www.esa.int/esaCP/SEMMAJ5XPVG\\_Germany\\_2.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMMAJ5XPVG_Germany_2.html) (Stand: 24.09.2012)

Handelsblatt (Hrsg.): Mit Laserstrahlen gegen Weltraumschrott

<http://www.handelsblatt.com/technologie/forschung-medizin/forschung-innovation/raumfahrt-mit-laserstrahlen-gegen-weltraumschrott/6167606.html> (Stand: 4.11.2012)

Hirschmann, Kai (2009): Schlechte Karten für die „Weltraum-Müllabfuhr“

<http://www.helles-koepfchen.de/artikel/1203.html> (Stand: 24.09.2012)

Honsel, Gregor (2008): Das All ist kein rechtsfreier Raum

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/raumfahrt-recht-das-all-ist-kein-rechtsfreier-raum-a-546181.html> (Stand: 29.09.2012)

„Inter-Agency Space Debris Coordination Committee“ (Hrsg.): IADC Website

<http://www.iadc-online.org/index.cgi> (Stand: 04.11.2012)

Leu, Christian (2007): Weltraummüll – Entstehung, Vermeidung und Gefahren

<http://news.astronomie.info/sky200710/thema.html> (Stand: 04.10.2012)

Löfken, Jan Oliver (2011): Metallwolke soll Weltraummüll aus dem Orbit räumen

[http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Metallwolke\\_soll\\_Weltraummuell\\_aus\\_dem\\_Orbit\\_raeumen1771015587553.html](http://www.wissenschaft-aktuell.de/artikel/Metallwolke_soll_Weltraummuell_aus_dem_Orbit_raeumen1771015587553.html) (Stand: 3.10.2012)

Lübbert, Dr. Daniel/Strate, Gregor/Tenner, Julia (2009): Weltraummüll

<http://www.bundestag.de/dokumente/analysen/2009/weltraummuell.pdf> (Stand: 24.09.2012)

NASA (Hrsg.): „Basic Concepts“

<http://ares.jsc.nasa.gov/ares/hvit/basic.cfm> (Stand: 04.11.2012)

NASA (Hrsg.): „What is NASA?“ <http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/what-is-nasa-58.html> (Stand: 04.11.2012)

Pro Therm (Hrsg.): Was ist Kevlar?

<http://www.protherm-ag.ch/d/hitzeschutz/kevlar.htm> (Stand: 10.10.2012)

Rackl, Wolfgang: Vortrag und Gespräch im DLR Oberpfaffenhofen am 13.07.2012

Raumfahrtmuseum (Hrsg.): Das Ende der MIR

[http://www.raumfahrtmuseum.at/das\\_ende\\_der\\_mir.html](http://www.raumfahrtmuseum.at/das_ende_der_mir.html) (Stand: 4.10.2012)

Ria Novosti (Hrsg., 2012): ISS muss Bruchstück von japanischem Satelliten ausweichen

<http://de.rian.ru/space/20121003/264577635.html> (Stand: 04.11.2012)

Safier, David: Mieses Karma, 14. Auflage, Hamburg 2008, S. 33

Short News (Hrsg., 2011): Müll im Weltall soll mit Metallwolke bekämpft werden

<http://www.shortnews.de/id/888354/Mull-im-Weltall-soll-mit-Metallwolke-bekampft-werden> (Stand: 3.10.2012)

Stremmel, Florian (2006): Weltraumschrott – Ein gefährliches Erbe

<http://www.raumfahrer.net/raumfahrt/raumsonden/Weltraumschrott.shtml> (Stand: 24.09.2012)

„The Encyclopedia of Science“ (Hrsg.): „Whipple Shield“

[http://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/Whipple\\_shield.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/Whipple_shield.html) (Stand: 04.11.2012)

Think Ing. (Hrsg.): Weltraumschrott – Die Gefahr im All

<http://www.think-ing.de/specials/jahr-der-astronomie/ingenieure-und-astronomie/weltraumschrott> (Stand: 24.09.2012)

TU Braunschweig (Hrsg., 2010): Weltraummüll

<https://www.tu-braunschweig.de/ilr/forschung/raumfahrttechnik/spacedebris> (Stand: 24.09.2012)

UNI Protokolle (Hrsg.): Weltraumschrott

<http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Weltraumschrott.html> (Stand: 4.10.2012)

Schilder, Hans: Wunder der Technik, München 2008, S. 51

„US Naval Research Laboratory“ (Hrsg.) <http://www.nrl.navy.mil/> (Stand: 04.11.2012)

VDI Nachrichten (Hrsg., 2010): Der Müll im All wird zur Gefahr für die Raumfahrt  
<http://www.vdi-nachrichten.com/artikel/Der-Muell-im-All-wird-zur-Gefahr-fuer-die-Raumfahrt/48534/1> (Stand: 24.09.2012)

Vogt, Inca: Müll ohne Grenzen im Weltall  
<http://www.4planet.de/magazin/umwelt/276-muell-ohne-grenzen-im-weltall> (Stand: 24.09.2012)

Weltraumschrott – Die ISS muss ausweichen, in: Münchner Merkur Nr. 229 vom 04.10.2012, S. 26

Wiedemann, Dr.-Ing. Carsten/Vörsmann, Prof. Dr.-Ing. Peter (2012): „*Space Debris – Current Situation*“ <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/pres/lsc2012/tech-02E.pdf> (Stand: 04.11.2012)

Wikipedia (Hrsg.): „*European Spcae Operations Centre*“  
[http://en.wikipedia.org/wiki/European\\_Space\\_Operations\\_Centre](http://en.wikipedia.org/wiki/European_Space_Operations_Centre) (Stand: 04.11.2012)

Wikipedia (Hrsg.): „*Kessler Syndrom*“  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Kessler\\_syndrome](http://en.wikipedia.org/wiki/Kessler_syndrome) (Stand: 24.09.2012)

Wikipedia (Hrsg.): Space Shuttle  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Space\\_Shuttle](http://de.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle) (Stand: 04.11.2012)

Wikipedia (Hrsg.): „*Space Surveillance System*“  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Space\\_Surveillance\\_System](http://de.wikipedia.org/wiki/Space_Surveillance_System) (Stand: 04.11.2012)

Wikipedia (Hrsg.): „*United States Space Command*“  
[http://en.wikipedia.org/wiki/United\\_States\\_Space\\_Command](http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_Space_Command) (Stand: 04.11.2012)

Wikipedia (Hrsg.): „*Whipple Shield*“

[http://en.wikipedia.org/wiki/Whipple\\_shield](http://en.wikipedia.org/wiki/Whipple_shield) (Stand: 04.11.2012)

Wikipedia (Hrsg.): Weltraummüll

<http://de.wikipedia.org/wiki/Weltraumm%C3%BCll> (Stand: 04.11.2012)

3sat (Hrsg., 2011): Kampf dem Müll im All – ESA plant ein Überwachungsnetz für den Weltraum. <http://www.3sat.de/page/?source=/nano/astuecke/78433/index.html> (Stand: 24.09.2012)

<b><u>Abbildungsverzeichnis:</u></b>		
<b>Abb. 1</b>	Explosion einer Oberstufe	S. 8
<b>Abb. 2</b>	Kollision des amerikanischen „Iridium 33“ und des russischen „Kosmos 2.251“	S. 9
<b>Abb. 3</b>	Anzahl der Weltraumschrottteile nach dem chinesischen Test einer Antisatellitenwaffe	S. 10
<b>Abb. 4</b>	Die Erdorbits	S. 11
<b>Abb. 5</b>	Verteilung des Weltraumschrotts mit Blick auf den Nordpol	S. 11
<b>Abb. 6</b>	Größe und Häufigkeit der Weltraumschrottobjekte	S. 12
<b>Abb. 7</b>	Einschlag eines kleinen Objekts in ein Solarpanel	S. 12
<b>Abb. 8</b>	Die ISS	S. 14
<b>Abb. 9</b>	Der Satellit ENVISAT	S. 15
<b>Abb. 10</b>	Teleskop der ESA auf Teneriffa	S. 16
<b>Abb. 11</b>	„Whipple Shield“	S. 18
<b>Abb. 12</b>	„Stuffed Whipple Shield“	S. 18
<b>Abb. 13</b>	„Multi-Shock-Shield“	S. 18
<b>Abb. 14</b>	Vom IADC empfohlene, zu schützende Orbits	S. 20
<b>Abb. 15</b>	Friedhofsorbit	S. 22
<b>Abb. 16</b>	Beschleunigung in den Friedhofsorbit	S. 22

**Bildquellenverzeichnis:**

- Abb. 1: [http://www.esa.int/esaCP/SEMA96N5NDF\\_Austria\\_mg\\_25\\_s\\_b.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMA96N5NDF_Austria_mg_25_s_b.html);  
27.10.2012
- Abb. 2: [http://www.esa.int/esaCP/SEMA7S7XZVG\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMA7S7XZVG_Germany_0.html); 28.10.2012
- Abb. 3: <http://www.sterne-und-weltraum.de/alias/dachzeile/chinesischer-abschuss-erzeugt-jede-menge-weltraummuell/864096>; 28.10.2012
- Abb. 4: <http://www.ustudy.in/node/7172>; 28.10.2012
- Abb. 5: <http://news.astronomie.info/sky200710/thema.html>; 27.10.2012
- Abb. 6: [http://www.dlr.de/irs/en/desktopdefault.aspx/tabid-4392/7172\\_read-10767/](http://www.dlr.de/irs/en/desktopdefault.aspx/tabid-4392/7172_read-10767/); 28.10.2012
- Abb. 7: <http://news.astronomie.info/sky200710/thema.html>; 27.10.2012
- Abb. 8: <http://news.astronomie.info/sky200310/thema.html>; 28.10.2012
- Abb. 9: <http://poleshift.ning.com/profiles/blogs/europe-s-envisat-satellite-failure-launches-mysteries>; 28.10.2012
- Abb. 10: <http://www.helles-koepfchen.de/artikel/1203.html>; 27.10.2012
- Abb. 11: <http://ares.jsc.nasa.gov/ares/hvit/basic.cfm>; 27.10.2012
- Abb. 12: <http://ares.jsc.nasa.gov/ares/hvit/basic.cfm>; 27.10.2012
- Abb. 13: <http://ares.jsc.nasa.gov/ares/hvit/basic.cfm>; 27.10.2012
- Abb. 14: [http://www.esa.int/esaCP/SEMA7S7XZVG\\_Germany\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMA7S7XZVG_Germany_0.html); 27.10.2012
- Abb. 15: [http://www.esa.int/esaCP/SEMA96N5NDF\\_Germany\\_mg\\_13\\_s\\_b.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMA96N5NDF_Germany_mg_13_s_b.html);  
28.10.2012
- Abb. 16: [http://www.esa.int/esaCP/SEMA96N5NDF\\_Germany\\_mg\\_12\\_s\\_b.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMA96N5NDF_Germany_mg_12_s_b.html);  
28.10.2012

## Freigabe zur nicht-kommerziellen Nutzung

Bitte zutreffendes ankreuzen.

- ☐ Ich gestatte meinem Lehrer Herrn Schüttler, meine Seminararbeit im W-Seminar Raumfahrt am Kurt-Huber-Gymnasium Gräfelfing zu nicht-kommerziellen Zwecken, insbesondere also zur Lehre und als Anschauungsbeispiel zu verwenden. Mein Name wird dabei nur auf meinen ausdrücklichen Wunsch hin genannt.
- ☐ Ich gestatte darüber hinaus die Veröffentlichung meiner Arbeit auf der Internetseite des DLR\_School\_Lab Oberpfaffenhofen ([www.dlr.de/schoollab/oberpfaffenhofen](http://www.dlr.de/schoollab/oberpfaffenhofen)) als best-practice-Beispiel.

Selbstverständlich hat diese Entscheidung keinerlei Einfluss auf die Bewertung meiner Arbeit.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift