

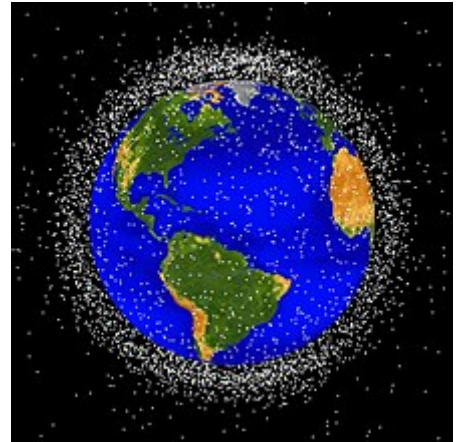
Weltraummüll

Weltraummüll, auch **Weltraumschrott**, besteht aus künstlichen Objekten ohne Gebrauchswert, welche sich in einer Umlaufbahn um die Erde^[1] befinden und eine Gefahr für die Raumfahrt darstellen.

Laut Modellen, wie zum Beispiel MASTER-2005 (Meteoroid and Space Debris Terrestrial Environment Reference) von der ESA, befinden sich über 600.000 Objekte mit einem Durchmesser größer als 1 cm in Umlaufbahnen um die Erde. Etwa 13.000 Objekte ab 5 cm werden mithilfe des US-amerikanischen Space Surveillance Systems kontinuierlich beobachtet. Das *Joint Space Operations Center* des United States Strategic Command wusste 2009 von über 18.500 vom Menschen hergestellten Himmelskörpern.

Im Rahmen von Messkampagnen werden mit Radaranlagen und Teleskopen sporadische Messungen durchgeführt, um kleinere Objekte wenigstens statistisch zu erfassen und Weltraummüllmodelle wie MASTER zu validieren. Das gelingt per bistatischem Radar mit dem Goldstone-Radioteleskop bis zu 2 mm Durchmesser für Objekte im erdnahen Orbit (LEO). Für den geostationären Orbit (GEO) haben optische Teleskope die geringere Grenzgröße: 10 cm erreicht das ESA Space Debris Telescope am Teide-Observatorium auf Teneriffa.

Eine weitere Quelle für Informationen über die Verteilung von Weltraummüll sind zurückgeführte Satellitenoberflächen. Dazu zählen unter anderem die Solarzellen des Hubble-Weltraumteleskops. Auf letzteren wurde eine Vielzahl an Einschlagkratern erfasst und ausgewertet. Spektroskopische Analysen ermöglichten Rückschlüsse auf die Zusammensetzung und somit mögliche Quellen der eingeschlagenen Objekte.



Verteilung des Weltraummülls. Jeder Punkt markiert ein Objekt im Katalog, typ. > 5 cm. (nicht maßstabsgerecht)



Einschlag in den Solarzellenflügel des SMM-Satelliten. Das Loch hat 0,5 mm Durchmesser, der Impaktor deutlich weniger.

Inhaltsverzeichnis

Verteilung

Risiken

Mengen

Quellen und Senken

Entstehung von neuem Weltraummüll

Verglühen von Weltraummüll aus niedrigen Umlaufbahnen

Vermeidungsmaßnahmen

Messungen

Long Duration Exposure Facility (LDEF)

Kataloge

Siehe auch

Literatur

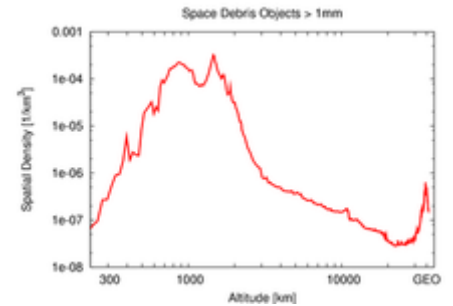
Weblinks

Einzelnachweise

Verteilung

Die Teilchenzahl variiert mit der Höhe. Unterhalb 400 km verglühen sie innerhalb weniger Jahre. In den von Satelliten bevorzugt genutzten Umlaufbahnen von 600 km bis 1500 km (sonnensynchroner Orbit) und 36.000 km (geostationärer Orbit) reichern sie sich an.

Der Teilchenfluss (Anzahl von Teilchen, die eine Fläche von einem Quadratmeter pro Jahr passieren) variiert mit der Größe. Über mehrere Größenordnungen folgt die gemessene Verteilung (rote Kurve im Diagramm) einem Potenzgesetz mit Exponent 4 (blaue Gerade). Diese Teilchen sind Meteoroiden natürlichen Ursprungs. Die Abweichung für Teilchen kleiner als 0,1 mm verursacht der Sonnenwind. Oberhalb von 10 mm dominiert der Weltraummüll.

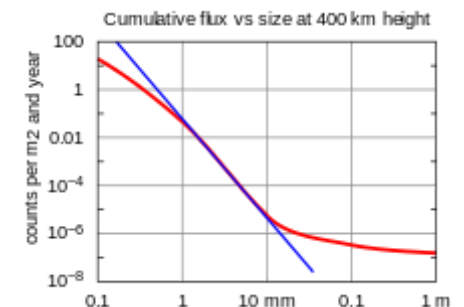


Höhenabhängigkeit der Anzahldichte von Teilchen größer als 1 mm. Daten von 2001

Risiken

Die Relativgeschwindigkeit zwischen Weltraummüll und einem erdnahen Satellit mit hoher Inklination der Bahn beträgt größenordnungsmäßig zehn Kilometer pro Sekunde. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit besitzt ein Teilchen mit 1 g Masse eine Energie von 50 kJ, was der Sprengkraft von etwa 12 g TNT entspricht, sodass sowohl das Teilchen als auch das unmittelbar getroffene Material explodieren.

Die bemannten Module der Internationalen Raumstation (ISS) sind mit doppelwandigen Meteoroidenschutzschilden (Whipple-Schild) ausgestattet und können aufgrund der durch den Einschlag in die erste Wand erzeugten Streuwirkung Einschlägen von Weltraummüll von mehreren Zentimeter Durchmesser widerstehen.



Anzahl pro m² und Jahr in Abhängigkeit von der Teilchengröße

Bereits jetzt ist auf einigen Umlaufbahnen die durch Einschläge von Weltraummüll hervorgerufene Ausfallwahrscheinlichkeit operationeller Satelliten nicht mehr vernachlässigbar. Selbst Einschläge kleinerer Partikel bis in den Submillimeterbereich können empfindliche Nutzlasten beschädigen oder Raumanzüge perforieren.

Die bislang größte zufällige Kollision im All war die Satellitenkollision am 10. Februar 2009. Ein deaktivierter russischer Kommunikationssatellit und ein Iridium-Satellit kollidierten in 789 km Höhe über Nordsibirien. Beide Satelliten wurden dabei zerstört. Die Kollision setzte eine erhebliche Menge weiteren Weltraummülls frei.^[2] Ebenfalls im Jahr 2009 schossen die Chinesen vom Boden aus bewusst ihren Wettersatelliten Fengyun-1C ab, um ihre Fähigkeit von Anti-Satellitenraketen zu demonstrieren. Allerdings führte dies zu einer Wolke von mindestens 40.000 Trümmerteilen im All.^[3]

Viele Raumfahrzeuge, wie die Space Shuttles oder die Internationale Raumstation, aber auch Satelliten wie der Erdbeobachtungssatellit Envisat sind in der Lage, notfalls Ausweichmanöver durchzuführen, um eine als nicht unwahrscheinlich (Wahrscheinlichkeit $p = 1/10.000$) eingestufte Kollision mit einem der etwa 13.000 Objekte, deren Bahnen kontinuierlich verfolgt werden, zu vermeiden. Im Jahr 2004 musste Envisat bereits zwei solcher Manöver durchführen. Raumfähren wie zum Beispiel die Discovery mussten insgesamt sechs Ausweichmanöver fliegen. Die ISS hat bis 2009 acht Ausweichmanöver erfolgreich durchgeführt.

Die direkte Kollision zweier größerer Stücke wie Satelliten oder alter Raketenstufen wird aktuell mit einem Ereignis alle 10 Jahre eingeschätzt.^[4]

Mengen

Bis zum Frühjahr 2010 erfolgten in 50 Jahren Raumfahrt etwa 4700 Raketenstarts mit gut 6100 Satelliten. Davon verblieben 15.000 Bruchteile von Raketen und Satelliten, bis zu kompletten Oberstufen. Nach dem USA-Katalog sind das 15.000 Objekte von mindestens zehn Zentimeter Größe, vermutlich kommen noch 7000 geheimgehaltene Objekte hinzu. Wird die Mindestgröße auf

einen Zentimeter gesenkt, werden 600.000 Objekte geschätzt, zu denen noch etwa eine Million kleinere Teilchen hinzukommen. Daraus ergibt sich die Gesamtmasse an Weltraummüll von etwa 6300 Tonnen,^[5] wovon 73 % der Objekte sich im erdnahen Orbit (LEO) befinden, allerdings sind dies von der Gesamtmasse nur 40 %, also etwa 2700 Tonnen.^[6] Besonders betroffen ist die Höhe von 800 Kilometern, die bevorzugte Flugbahn der Aufklärungssatelliten. Die ISS fliegt zwischen 350 und 400 Kilometern; sie musste bislang mehrmals^{[7][8][9]} Objekten ausweichen, die größer als ein Zentimeter sind. Im geostationären Orbit (GEO) in 36.000 Kilometer Höhe um die Erde befinden sich zwar nur 8 % der Bruchstücke, aber hier kreisen die großen tonnenschweren Telekommunikationssatelliten mit einem geschätzten Gesamtgewicht von 33 %, also etwa 2000 Tonnen. Die restlichen 19 % der Objekte mit 27 % der Masse befinden sich auf anderen Bahnen.^[10]

„Selbst wenn man heute mit der Raumfahrt aufhörte, würde die derzeitige Trümmermasse im Orbit ausreichen, [auf Grund des Kaskadeneffektes ...] um immer neue Trümmer entstehen zu lassen. [...] Die Zunahme des Weltraummülls kann langfristig dazu führen, dass bestimmte Orbits für die Raumfahrt sonst nicht mehr genutzt werden können.“

– HEINER KLINKRAD (LEITER DES SPACE DEBRIS OFFICE DER ESA IN DARMSTADT.)

2009 erfolgten 80 Raketenstarts mit Satelliten, Shuttles und Weltraumsonden. In den kommenden Jahren sind alleine für Navigationssysteme 100 neue Satelliten für den Orbit in 21.000 bis 26.000 Kilometer Höhe vorgesehen.

Quellen und Senken

Entstehung von neuem Weltraummüll

Neben nicht mehr gebrauchten Satelliten gibt es eine Vielzahl an Ereignissen und Mechanismen, die zur Entstehung von Weltraummüll führen.

Missionsbedingte Objekte

Im Rahmen von Weltraummissionen freigesetzte Objekte (engl. *mission-related objects*, MRO), wie zum Beispiel Sprengbolzen und Abdeckungen. Ebenfalls ganze Raketenoberstufen und Doppelstartvorrichtungen die mit den Satelliten in die Umlaufbahnen gelangen und dort verbleiben.



Abgetrennte zweite Stufe einer Delta-II-Rakete im Orbit, aufgenommen vom Experimentalsatelliten XSS 10

Explosionen

von Satelliten oder Oberstufen – diese werden hervorgerufen durch absichtliche Sprengungen, durch die Entzündung von Resttreibstoffen von Oberstufen und durch das Verdampfen von kryogenen Treibstoffkomponenten in Oberstufen, in denen noch Treibstoffreste zurückgeblieben sind. Durch die Ausdehnung dieser Treibstoffe während des Verdampfens können die Oberstufen gesprengt werden. Explosionen können auch von Entladungen in Batterien der Satelliten ausgelöst werden. Es wird angenommen, dass sich seit Beginn der Raumfahrt etwa 200 Explosionen im Orbit ereignet haben.

Killersatelliten

Satelliten, die während des Kalten Krieges – wahrscheinlich auch noch heute – eigens zur Neutralisierung von Spionagesatelliten des Gegners eingesetzt werden. Die meisten führen selbstzerstörerisch eine beabsichtigte Kollision mit dem Ziel herbei, mitunter einhergehend mit einer Explosion. Weder ihre Zahl noch die ihrer Opfer sind öffentlich bekannt, da sowohl sie selbst als auch ihre Ziele unter strengster militärischer Geheimhaltung stehen.

Antisatellitenraketen (ASAT)

Der Einsatz dieser Waffen kann die Trümmer, die bei der Zerstörung von Satelliten entstehen (wie z. B. bei Fengyun-1C), auf sehr viele verschiedene Bahnen schleudern – auch solche, die große Höhen erreichen.^[12]

Kollisionen von Raumflugkörpern

Dabei geht es nicht um Schrammen bei missglückten Andockmanövern, sondern um zufällige Zusammentreffen mit hoher Relativgeschwindigkeit, im GEO meist mit 100 bis 1000 m/s, aber womöglich auch mit 1,5 km/s (Satellit gegen Hohmann-Transfer-Stufe), im LEO mit typisch 10 km/s, was beide Flugkörper zerlegt. Beispiele sind die Abtrennung des Stabilisierungsmastes des Cerise-Satelliten (ausfahrbarer Mast) durch eine ältere Ariane-Raketenoberstufe^[13] und die spektakuläre Satellitenkollision am 10. Februar 2009, bei der über 2000 katalogisierte Trümmerteile und grob geschätzt eine halbe Million Partikel über 1 mm entstanden.

Fortgesetzte Kollisionen

Der NASA-Berater Donald J. Kessler prognostizierte 1978 das als Kessler-Syndrom bekannt gewordene Szenario, nach dem bei Einschlägen kleiner Fragmente und Meteoroide jeweils viele größere Fragmente entstehen würden und so das Müllproblem beschleunigt wachsen würde, selbst wenn keine weiteren Satelliten mehr gestartet würden.^[14]

Oberflächendegradation

Das ESA Space Debris Teleskop fand öfter helle Objekte, deren schnelles Absinken in der Hochatmosphäre auf ein sehr hohes Flächen- zu Massenverhältnis hindeutet, bis zu 30 m²/kg. Es könnte sich um Wärmeschutzfolie von Satelliten handeln.

West Ford Dipole

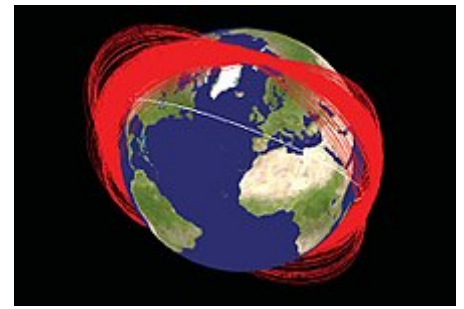
Zu Beginn der 1960er Jahre sollte eine diffuse Sphäre aus vielen Millionen feiner Drähtchen (18 mm × 0,018 mm) einen Reflektor für den Funkverkehr bilden. Die Vreinzelung bei der Freisetzung gelang nur teilweise; es bildeten sich Flocken, von denen noch eine überschaubare Zahl in über 2500 km Höhe vagabundiert.^{[15][16]}

Feststofftriebwerke

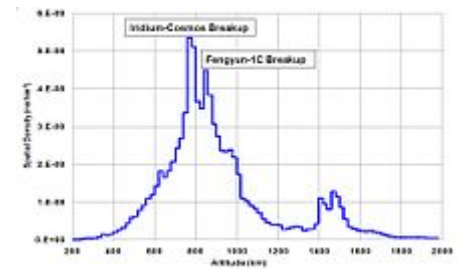
erzeugen während des Abbrandes mikrometergroße Aluminiumoxid-Partikel.^[17] Am Ende des Abbrandes können auch größere Schlackeobjekte austreten, deren Durchmesser mehrere Zentimeter erreichen kann.

Reaktorkühlmittel

aus weltraumgestützten Buk-Kernreaktoren von sowjetischen Spionagesatelliten der im Westen als RORSAT bekannten Serie. Bei 16 solcher Satelliten wurde nach Beendigung der Mission eine Abstoßung des Reaktorkerns durchgeführt, dabei wurde das Kühlmittel des primären Kühlkreislafs NaK-78 freigesetzt (jeweils ca. 8 kg). Das NaK verteilte sich dabei in Tropfen verschiedener Größe auf den Umlaufbahnen der RORSAT-Satelliten. Durch verschiedene Bahnstörungen und die Drehung der Knotenlinie verteilt sich das NaK jedoch auch zunehmend auf anderen Bahnen.



die Bahnen katalogisierter Fengyun-1C-Fragmente einen Monat nach dem ASAT-Test



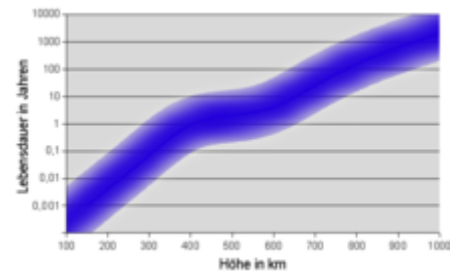
Höhenverteilung von Fragmenten im LEO nach Fengyun-1C und der Kollision 2009^[11]



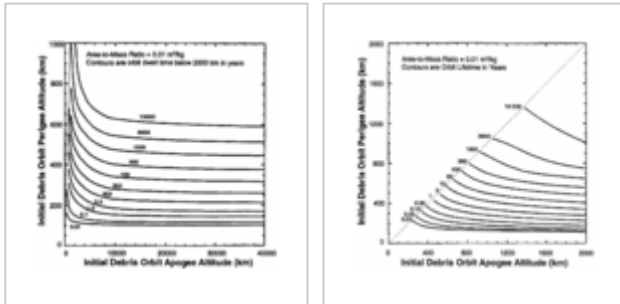
Ein Stück Aluminiumoxid aus einem Test eines Space-Shuttle-Boosters

Verglühen von Weltraummüll aus niedrigen Umlaufbahnen

Die Teile in niedrigen Umlaufbahnen werden durch einen Rest an Luftwiderstand abgebremst und verglühen irgendwann in der Atmosphäre. In größeren Höhen wird die Luftreibung immer geringer, so dass größere Objekte aus einer Höhe von 800 km Jahrzehnte, aus einer Höhe von 1500 km aber einige tausend Jahre brauchen, um zu verglühen. Die feinen Drähtchen des West-Ford-Projekts sind allerdings, soweit sie unverklumpt unterwegs waren, wie berechnet mit Unterstützung des Strahlungsdrucks der Sonne innerhalb weniger Jahre aus über 3500 km Höhe zurückgekehrt.^[15]



Lebensdauer in verschiedenen Höhen



Lebensdauerdiagramme von Raumflugkörpern auf stark elliptischen Umlaufbahnen in verschiedenen Höhen. Lebensdauerdiagramme von Raumflugkörpern auf schwach elliptischen Umlaufbahnen in verschiedenen Höhen.

Da die Höhen von 800 km und 1500 km als Umlaufbahnen bevorzugt genutzt werden, wächst die Bedrohung für die kommerzielle und wissenschaftliche Raumfahrt. Konzepte, wie dieses Problem zu lösen ist, scheitern zurzeit an den damit verbundenen Kosten.

Beispiele für teilweises Verglühen

Bei sehr großen Satelliten und besonders bei hitzebeständigen Bestandteilen kann es vorkommen, dass diese den Wiedereintritt teilweise überstehen und einige mitunter sehr schwere Bruchstücke die Erde erreichen. Als Beispiele können hier ROSAT mit hitzebeständigen Spiegeln aus Glaskeramik oder der 5,9 t schweren Upper Atmosphere Research Satellite gelten.

Vermeidungsmaßnahmen

Zur Vermeidung von Kollisionen mit Teilen des Weltraummülls werden von zuständigen Observatorien der NASA und des Militärs sämtliche größere Teilchen (ab 1 cm Größe) permanent verfolgt. Wird ein Kollisionskurs mit der ISS oder einem anderen manövrierbaren Raumfahrzeug erkannt, so erfolgt das typischerweise früh genug (mehrere Tage im Voraus), dass dieses Raumfahrzeug ein Ausweichmanöver einleiten kann. Da die ISS ohnehin immer wieder auf eine etwas höhere Umlaufbahn zurückgebracht werden muss, kostet das keinen zusätzlichen Treibstoff.

Zur Vermeidung von Weltraummüll werden bei allen modernen Raketen die in die Umlaufbahn gelangenden Stufen mit Hilfe einer zusätzlichen Triebwerkzündung wieder abgebremst, um sie über kurz oder lang in der Atmosphäre verglühen zu lassen. Die ESA schlägt vor, die Dauer bis zum Wiedereintritt missionsbedingter Objekte (MROs, siehe oben) in Abhängigkeit von der Querschnittsfläche zu beschränken:

$$A \cdot t < 0,1 \text{ m}^2 \text{ y}$$

- A – Querschnittsfläche
- t – Einsatzdauer

Bei Oberstufen, die in hohe Umlaufbahnen gelangen und keinen ausreichenden Bremsimpuls erzeugen können, werden zumindest die Reste des Treibstoffs verbraucht oder abgelassen, um eine mögliche Explosion zu verhindern. Geostationäre Satelliten selbst werden inzwischen nicht mehr bis zum vollständigen Erschöpfen der Treibstoffvorräte genutzt, sondern mit einem gewissen Rest in einen Friedhofsorbit gebracht.

Um den lawinenartigen Anstieg der Zahl kleiner Objekte durch Kollisionen mit größeren zu bremsen, wurde vorgeschlagen, wenigstens die größeren der inaktiven Objekte zu beseitigen. Verschiedene Ideen wurden vorgeschlagen, wie man in einer einzigen, längeren Mission mehrere Objekte entsorgen könnte. Problematische Aspekte sind die Interaktion mit unkontrolliert rotierenden Objekten und der große Bedarf an Stützmasse für zahlreiche Bahnwechsel.

Messungen

Die Detektion von Weltraummüll kann vom Erdboden aus mittels optischer Teleskope oder Radar erfolgen. Einige Radare können dabei in niedrigen Umlaufbahnen Partikel im Millimeterbereich nachweisen. Die genaue Messung der Bahnparameter und das kontinuierliche Verfolgen der Objekte ist jedoch nur bei Durchmessern ab 5 cm in LEO und 50 cm in GEO möglich. Die Bahnen dieser Objekte werden durch das amerikanische Space Surveillance System kontinuierlich verfolgt und ihre Bahnelemente in einem Objektkatalog veröffentlicht. Derzeit enthält dieser Katalog ca. 13.000 Objekte, allerdings sind lediglich die Bahndaten für etwa 9600 Objekte der Öffentlichkeit zugänglich. Als einzige Möglichkeit, Population und Bahnparameter von kleineren Partikeln zu ermitteln, bleiben damit in-situ-Messungen. Zu diesem Zweck wurden bereits mehrere Detektorkonzepte erprobt. Die bekanntesten europäischen Detektorkonzepte sind der DEBIE-Detektor und der GORID-Detektor (identisch mit Galileo- und Ulysses-Detektoren). Beide Detektoren bestimmen die Einschlagsenergie eines Hochgeschwindigkeitspartikels über die Zusammensetzung des durch den Einschlag entstehenden Plasmas. Mit elektrischen Feldern werden die Elektronen und Ionen im Plasma voneinander getrennt und mit geladenen Gittern die jeweilige Spannung gemessen. Aus der Form und dem zeitlichen Verlauf der Spannungspulse lassen sich über am Erdboden aufgenommene Kalibrierungskurven Masse und Geschwindigkeit des eingeschlagenen Partikels bestimmen. Zur reinen Plasmamessung kommt beim DEBIE-Sensor die Messung des Einschlagsimpulses über Piezoelemente hinzu, so dass es ein Vergleichssignal zur Plasmamessung gibt. Ein Plan, mit dem Large Area Debris Collector (LAD-C) an der ISS Weltraummüll einzufangen und zu analysieren, wurde 2007 aufgegeben.^[18]

Long Duration Exposure Facility (LDEF)

Bei dem LDEF-Satelliten handelte es sich um ein Experiment, bei dem die Langzeitauswirkungen einer Weltraumumgebung erforscht werden sollten. Obwohl wesentlich kürzer geplant, blieb der Satellit fast sechs Jahre im Orbit, bevor er von Mission STS-32 geborgen und zurück zur Erde gebracht werden konnte. Abgesehen von vielen nur mikroskopisch sichtbaren Beschädigungen war auch eine mit bloßem Auge erkennbare vorhanden. Die Untersuchung des Satelliten brachte sehr viel Informationen über Weltraummüll und Mikrometeoriten.^[19]

Kataloge

Die Kataloge über künstliche Satelliten, beispielsweise NORAD, beschränken sich auf intakte Objekte. Die Trümmer, die bei einem Auseinanderbrechen entstehen, werden in gesonderten Datenbanken für Weltraummüll erfasst. Eine wird, wie NORAD, von USSTRATCOM gepflegt.^[20] Sie ist auch die Grundlage für die Sammlung *DISCOS* (*Database and Information System Characterizing Objects in Space*) der ESA.^[21]


Siehe auch

- Raumschiff-Friedhof
- Weltraumhaftung
- Planetes – japanische Fiktion vor dem Hintergrund des Weltraummüll-Problems
- Inter-Agency Space Debris Coordination Committee
- Gravity (Film)
- RemoveDEBRIS

Literatur

- Carsten Wiedemann, Peter Vörsmann, Heiner Klinkrad: *Ein Modell für den Weltraummüll*. In: *Sterne und Weltraum*. Oktober 2005, S. 30–36.
- Paula H. Krisko: *The Predicted Growth of the Low Earth Orbit Space Debris Environment: An Assessment of Future Risk for Spacecraft*. NASA Technical Report, 2007, [Permalink](#) (online seit April 2013).
- Wolfgang Rathgeber, Kai-Uwe Schrogl, Ray A. Williamson (Hrsg.): *The Fair and Responsible Use of Space: An International Perspective*. Springer, Wien 2010, ISBN 978-3-211-99652-2, [eingeschränkte Vorschau](#) in der Google-Buchsuche.
- Michael W. Taylor: *Orbital Debris - Technical and Legal Issues and Solutions*. McGill University, Montreal 2006, [Abstract online](#) (pdf, S. 121, abgerufen 2. November 2009; 669 kB)
- P. Eichler, A. Bade: *Removal of debris from orbit*. American Institute of Aeronautics and Astronautics 1990-1366, [aiaa.org](#)
- Orbital Debris Program Office (NASA): *History of ON-Orbit Satellite Fragmentation*. 14th Edition June 2008 [History of ON-Orbit Satellite Fragmentation](#) (pdf, englisch)
- Daniel Hampf, Leif Humbert, Thomas Dekorsy und Wolfgang Riede: *Kosmische Müllhalde*. Physik Journal (DPG) 01/2018, S. 31.

Weblinks

 **Commons: Weltraummüll** – Album mit Bildern, Videos und Audiodateien

 **Wiktionary: Weltraummüll** – Bedeutungserklärungen, Wortherkunft, Synonyme, Übersetzungen

- [Spiegel Online: Rasende Geschosse im All](#)
- [NASA Orbital Debris Program Office](#)
- [Position Paper on Space Debris Mitigation](#) International Academy of Astronautics 2005 (PDF, 1 MB abgerufen 30. März 2009)
- [Space Debris Video 2005 Bilder](#)
- [Echtzeit-3D-Karte des Weltraumschrotts](#)
- [Weltraummüll gefährdet die Raumfahrt](#)

Einzelnachweise

1. D. Spencer u. a.: *Space Debris Research in the U. S. Department of Defense*. Second European Conference on Space Debris, 1997, ESOC, Darmstadt, Germany (1997), ESA-SP 393., S. 9 [@adsabs.harvard.edu](#) (<http://adsabs.harvard.edu/full/1997ESASP393....9S>)
2. [spaceweather.com](http://spaceweather.com/glossary/colliding_satellites.htm) (http://spaceweather.com/glossary/colliding_satellites.htm)
3. [Welt.de: Ausgediente Satelliten auf Kollisionkurs im Weltall](#) (<https://www.welt.de/wirtschaft/article160965065/Ausgediente-Satelliten-auf-Kollisionkurs-im-Weltall.html>)
4. [http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Weltraummuell_Wie_hoch_ist_das_Risiko_einzuschaetzen/\(pr](http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Weltraummuell_Wie_hoch_ist_das_Risiko_einzuschaetzen/(pr)
5. Joseph N. Pelton: *Space debris and other threats from outer space*. Springer, New York 2013, ISBN 978-1-4614-6713-7.
6. [Orbital Debris and Future Environment Remediation](#) (http://www.nasa.gov/pdf/582393main_OCTOrbital_Debris_TAGGED.pdf) nasa.gov, abgerufen am 7. März 2015.
7. [Raumstation muss Weltraumschrott ausweichen.](#) (<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/Q1518,811984,00.html#ref=rss>) spiegel.de, 28. Januar 2012, abgerufen am 29. Januar 2012
8. [Raumstation flüchtet vor Satellitentrümmern](#) (<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/Q1518,808954,00.html>) spiegel.de, 13. Januar 2012, abgerufen am 29. Januar 2012
9. [Raumstation umschifft Weltraumschrott.](#) (<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/Q1518,725569,00.html>) spiegel.de, 27. Oktober 2011, abgerufen am 29. Januar 2012
10. [ESA-Angaben](#) (<http://www.esa.int/>) nach vdi-n vom 2. Juli 2010, S. 3.
11. [USA Space Debris Environment, Operations, and Policy Updates](#) (<http://www.unoosa.org/pdf/pres/stsc2011/tech-31.pdf>) In: NASA. UNOOSA, abgerufen am 1. Oktober 2011 (PDF).
12. Uwe Reichert: *Umweltkatastrophe im Orbit*. In: *Sterne und Weltraum*. 46, Nr. 4, April 2007, S. 24, ISSN 0039-1263 (<http://zdb-katalog.de/list.xhtml?t=iss%3D%220039-1263%22&key=cql>)
13. [http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Weltraummuell_Wie_hoch_ist_das_Risiko_einzuschaetzen/\(pr](http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Weltraummuell_Wie_hoch_ist_das_Risiko_einzuschaetzen/(pr)

14. Donald J. Kessler, Burton G. Cour-Palais: *Collision Frequency of Artificial Satellites - The Creation of a Debris Belt*. (<http://webpages.charternet.dkessler/files/Collision%20Frequency.pdf>) In: *Journal of Geophysical Research* **Vol 81**. No. 46. 1. Juni 1978, S. 2637–2646, abgerufen am 3. Mai 2010 (3,4 MB PDF, englisch).
15. *West Ford Needles: Where are They Now?* In: NASA: *Orbital Debris Quarterly News*. (<http://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/newsletter/pdfs/ODQNv17i4.pdf>) Vol. 17, Issue 4, Oktober 2013, S. 3.
16. C. Wiedemann, H. Krag, P. Wegener, P. Vörsmann: Jahrbuch 2002 der DGLR, Band II, S. 1009–1017 *Das orbitale Verhalten von Clustern aus Kupfernadeln der West Ford Experimente* (<https://web.archive.org/web/20100108052836/http://www.ilr-ing.tu-bs.de/dasinstitut/mitarbeiter/CarstenWiedemann/WiedemannDGLR2002LRTUBS.pdf>) (Memento vom 8. Januar 2010 im *Internet Archive*).
17. S. Stabroth, P. Wegener, M. Oswald, C. Wiedemann, H. Klinkrad, P. Vörsmann: *Introduction of a nozzle throat diameter dependency into the SRM dust size distribution* In: *Advances in Space Research*. **38**, 2006, S. 2117–2121.
18. Maggie McKee: *World's only space dust detector binned*. (<http://www.newscientist.com/article/dn11171worlds-only-space-dust-detector-binned.html>) 12. Februar 2007, abgerufen am 9. Oktober 2013 (englisch).
19. Seite der NASA über LDEF (https://ares.jsc.nasa.gov/orbital_debris/hvit/impact-galleries/other-impact-galleries.html) (englisch mit Bildern)
20. Seite nicht mehr abrufbar (https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Wikipedia:Defekte_WikiLinks&dwl=http://apollo.isti.cnr.it/rossi/publications/iau/node2.html) Suche in Webarchiven: *Situation of Space debris in 1995* (<http://timetravel.mementoweb.org/list/2010/http://apollo.isti.cnr.it/rossi/publications/iau/node2.html>)
21. DISCOS of ESA (http://www.esa.int/esaCP/SEMHDJXJD1E_FeatureWeek_0.html)

Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Welttraummüll&oldid=177354262>

Diese Seite wurde zuletzt am 12. Mai 2018 um 05:57 Uhr bearbeitet.

Der Text ist unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ verfügbar; Informationen zu den Urhebern und zum Lizenzstatus eingebundener Mediendateien (etwa Bilder oder Videos) können im Regelfall durch Anklicken dieser abgerufen werden. Möglicherweise unterliegen die Inhalte jeweils zusätzlichen Bedingungen. Durch die Nutzung dieser Website erklären Sie sich mit den Nutzungsbedingungen und der Datenschutzrichtlinie einverstanden.

Wikipedia® ist eine eingetragene Marke der Wikimedia Foundation Inc.