

Ressourcen im globalen Kontext

Herausgegeben von
LIV JAECKEL



Mohr Siebeck

Ressourcen im globalen Kontext
Herausgegeben von Liv Jaeckel



Ressourcen im globalen Kontext

Schutz und nachhaltige Nutzung

herausgegeben von
Liv Jaeckel

Mohr Siebeck

Liv Jaeckel ist Inhaberin des Lehrstuhls für Öffentliches Recht, insb. Technik- und Umweltrecht an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg sowie assoziierte Professorin an der privaten Wirtschaftsuniversität HHL Leipzig Graduate School of Management.

ISBN 978-3-16- 156276-1 / eISBN 978-3-16-156277-8
DOI 10.1628/978-3-16-156277-8

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

© 2019 Mohr Siebeck Tübingen. www.mohrsiebeck.com

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für die Verbreitung, Vervielfältigung, Übersetzung und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Das Buch wurde von Gulde-Druck in Tübingen gesetzt, auf alterungsbeständiges Werkdruckpapier gedruckt und gebunden.

Printed in Germany.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort VII

Ressource Atmosphäre und Weltraum

Holger Krag und Tim Flohrer

**Operating in the Space Debris Environment and some aspects of
space debris mitigation 3**

Stephan Hobe und Rada Popova

**Die Rechtssystematik zu Ressourcenschutz, Ressourcenschonung
und Weltraum 24**

Ressource Terrestrische Systeme

Jörg Junhold

Die globale Biodiversität und die Rolle der Zoos bei ihrem Schutz 45

François Buscot

**Die Biologische Vielfalt unserer Böden
als ökologische Ressource 54**

Tade Matthias Spranger

**Aktuelle Herausforderungen des rechtlichen Biodiversitätsschutzes:
von Biopatenten bis zu Nagoya 69**

Ressource Aquatische Systeme

Helge Wendenburg

Plastikmüll – ein zentrales Problem des Meeresumweltschutzes 83

*Sonya R. Moses, Sarah Piehl, Anja F. R. M. Ramsperger, Martin Löder,
Christian Laforsch*

Plastik im aquatischen Ökosystem 93

VI Inhaltsverzeichnis

Liv Jaeckel

Mikroschadstoffe in Gewässern – Rechtliche Vorschläge zur Problemlösung am besonderen Beispiel der Arzneimittel	107
Autorenverzeichnis	129

Vorwort

Als einziges Lebewesen hat der Mensch die Erde aktiv in einer Art und Weise umgestaltet, die die geologische Fachwelt sogar darüber diskutieren lässt, von einem eigenen Erdzeitalter, dem *Anthropozän* zu sprechen.¹ Nahezu alle Lebensräume der Erde sind durch menschliches Handeln verändert: durch die ubiquitäre Verbreitung von Müll, insbesondere Plastikpartikeln, den Klimawandel mit seinen zahlreichen Folgen, das Aussterben wie auch die weltweite Verschleppung von Arten, den radioaktiven Fallout aufgrund der Atombomben von Hiroshima und Nagasaki sowie durch Atomtests und Kernkraftunfälle, die massive Nutzung fossiler Energien und die Veränderungen der Stickstoff-, Phosphor- und Kohlenstoffkreisläufe.

So sehr das Konzept des Anthropozäns – sei es im geologischen oder weiter gefassten umweltpolitischen Sinn verwandt – darauf zielt, den Umfang der menschlichen Einflüsse zu erfassen, so wenig darf die Einordnung als neues Erdzeitalter ein größeres Ausmaß an verfügbarer Zeit suggerieren; im Gegenteil, angesichts der immer schneller voranschreitenden Zerstörung von Lebensräumen wird die Zeit immer knapper. Eine Festsetzung des Begriffs Anthropozän würde nur die Untergrenze, den Beginn eines neuen Erdzeitalters markieren – weder sichert es uns als Menschen noch der Natur, die immer stärker unter uns leidet, eine gesicherte Zeitspanne, auf der wir uns ausruhen könnten.

Dies war für uns bei der Konzeption der Tagung „Ressourcen im globalen Kontext – Schutz und nachhaltige Nutzung“, die am 24. / 25.10.2017 an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg stattfand und auf die dieser Band zurückgeht, Veranlassung, einmal zurückzutreten, um das große Ganze in den Blick zu nehmen: unsere Erde als den wohl noch auf lange Zeit einzigen Planeten im Weltall, auf dem wir als Menschen überleben können, und die terrestrischen und aquatischen Lebensräume, die diese Erde prägen. So sehr wir bei der Themenfassung und der Interdisziplinarität den Blick geweitet haben, so detailliert und tieferschürfend haben sich die Autoren der einzelnen Themen angenommen - einem Fernglas gleich, das umgedreht als Lupe funktioniert. Hierfür sei ihnen herzlich gedankt.

Die beiden ersten Beiträge sind dem Weltraum als der Ressource gewidmet, die von der Menschheit noch am wenigsten erforscht ist. Erst vor etwa 75 Jahren (1944) gelang es der Menschheit erstmalig, mit einer Rakete in das Weltall vorzustoßen. Umso erschreckender ist es, wie sehr auch dieser Raum bereits durch anthropogene

¹ Waters, Colin N. / Zalasiewicz, Jan u. a., The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene, in: Science, 8 Jan 2016, Vol. 351, Issue 6269, aad2622; vorsichtiger Finney, Stanley C. / Edwards, Lucy E., The “Anthropocene” epoch: Scientific decision or political statement?, in: GSA Today, Vol. 26, Issue 3 (March/April 2016).

Spuren geprägt ist. Jedenfalls im erdnahen Bereich hat die Menschheit zahlreiche Rückstände hinterlassen, die die Erde nun als Müll umflirren: Nur etwa ein Drittel der in das All geschossenen Satelliten sind noch funktionsfähig, dazu kommen zahlreiche Überbleibsel von Raketen und Bruchstücke aus Explosionen und Zusammenstößen.

In ihrem spannenden Beitrag „Operating in the Space Debris Environment and some aspects of space debris mitigation“ zeigen *Dr. Holger Krag*, Leiter des ESA-Programmes für Weltraumsicherheit der Europäischen Raumfahrtagentur ESA, und *Dr. Tim Flohrer*, Senior Analyst für Raumfahrtrückstände und Segmentverantwortlicher für Auffinden und Bahnverfolgung künstlicher Objekte im ESA Programm zur Weltraumlageerfassung, anschaulich und detailgenau auf, wie schwierig es ist, gerade kleinere Objekte überhaupt zu erfassen, welche Schäden bei Kollisionen entstehen können und welche Schutzmaßnahmen im Umgang mit Weltraumrückständen ergriffen werden können.

Die Forderung der Autoren, dass die bisherigen Leitlinien zur Verminderung des Weltraumschrotts in rechtlich verbindliche Regelungen überführt werden müssen, findet Rückhall in dem Beitrag von *Prof. Dr. Dr. h.c. Stephan Hobe*, Direktor des Instituts für Luft- und Weltraumrecht an der Universität zu Köln, und *Rada Popova*, Doktorandin an diesem Institut, die sich mit der „Rechtssystematik zu Ressourcenschutz, Ressourcenschonung und Weltraum“ auseinandersetzen. Ausgehend von dem Grundgedanken, dass unser heutiger Umgang mit unserer Umwelt und unseren Ressourcen die Möglichkeiten künftiger Generationen nicht gefährden darf, stellen sie den bestehenden Rechtsrahmen zur Ressourcennutzung und Ausbeutung im Weltraum dar. In sorgfältiger Analyse zeigen sie auf, welche Mängel für den Umweltschutz des Weltraums bestehen und entwickeln Lösungsvorschläge, um den Weltraum als Ressource besser zu schützen.

Die folgenden Beiträge führen uns zurück auf die Erde, dem zentralen Lebensumfeld für uns Menschen wie auch für unzählige Tier- und Pflanzenarten. Dieser terrestrische Raum unterliegt als ureigener Lebensbereich des Menschen den wohl stärksten Einflussnahmen und Veränderungen. Mit der Erhaltung gefährdeter Arten, der biologischen Vielfalt der Böden und den Herausforderungen, die sich dem Schutz der Biodiversität sowohl auf der Makro- als auch der Genomebene stellen, sprechen die folgenden Beiträge zentrale Themenstellungen an.

Auf welche Weise zoologische Einrichtungen den Erhalt gefährdeter Arten unterstützen können, zeigt der Beitrag von *Prof. Dr. Jörg Junhold*, Past Präsident des Weltverbandes der Zoos und Aquarien (WAZA - World Association of Zoos and Aquariums) und Direktor des Zoos Leipzig, auf. Anhand zahlreicher Beispiele erläutert er, wie einerseits die Erhaltungszucht im Zoo, andererseits aber auch Artenschutzprojekte vor Ort zum Überleben von Tierarten, darunter auch solchen, die in der freien Natur bereits ausgestorben sind, beitragen. Das große Fachwissen in der Haltung verschiedener Tierarten, Investitionen der Zoos in personelle und finanzielle Ressourcen wie auch eine zunehmende globale Vernetzung der zoologischen Einrich-

tungen werden auf diese Weise in den Dienst der „Aichi“-Ziele der Biodiversitätskonvention gestellt.

Der Beitrag von *Prof. Dr. François Buscot*, Leiter Bodenökologie des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung GmbH und zwischen 2012 und 2019 Stellvertretender Direktor des iDiv Halle-Jena-Leipzig, nimmt uns mit auf eine Reise in das Innere der Böden und beschreibt anschaulich, welchen Ressourcenreichtum unsere Böden aufweisen. Dabei wird deutlich, welche komplexe Lebensgemeinschaften und biologischen Netzwerke – für unsere Augen größtenteils nicht sichtbar – in den Bodenstrukturen interagieren. Nach *Buscot* verkörpert der Boden das Konzept des Hologenoms, das nicht mehr allein den einzelnen Organismus als Einheit der Evolution betrachtet, sondern vielmehr Gemeinschaften von assoziierten Organismen in den Blick nimmt, die die Prozesse der Evolution gemeinsam durchlaufen. Diese Erkenntnisse bei der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zu nutzen, sei die Aufgabe der nächsten Jahre. Insofern ist *Buscot* nur zuzustimmen, wenn er festhält, dass die Böden dabei sind, sich von „einer Black Box“ der Biodiversitätsforschung in „ein Labor für die Zukunft der Biodiversitätsforschung“ zu wandeln.

Prof. Dr. Dr. Tade Matthias Spranger, Co-Leiter des Centre for the Law of Life Sciences, Universität Bonn, befasst sich aus rechtlicher Perspektive mit den aktuellen Herausforderungen des Biodiversitätsschutzes. Auch mehr als 25 Jahre nach der Annahme des Übereinkommens über die biologische Vielfalt stellen sich vielfältige Herausforderungen. Der Beitrag gewährt einen spannenden Einblick in die aktuellen Diskussionen, die von dem Ex-situ-Schutz in Botanischen Gärten, dem Umgang mit invasiven Arten und dem Schutz von Biodiversität jenseits nationaler Hoheitsgewalt bis zur Beurteilung von Biopatenten und digitalen Sequenzinformationen wie auch Verfahren der Genomeditierung reichen.

Mit dem Wasser ist der dritte elementare Bereich angesprochen, der unsere Lebenswelt entscheidend bestimmt und gleichermaßen durch menschliches Verhalten gefährdet ist. Als einprägsames Symbol für die Verschmutzung unserer aquatischen Ressourcen haben sich die großen Teppiche des auf den Meeren treibenden Plastikmülls erwiesen. Erst in den letzten Jahren ist verstärkt in das Bewusstsein getreten, dass neben diesen sichtbaren Verunreinigungen auch zahlreiche nicht sichtbare Mikroschadstoffe, darunter insbesondere auch Plastikpartikel im Mikrobereich, unsere Gewässer kontaminieren. Die folgenden Beiträge nehmen sich dieser Problematik aus unterschiedlicher Perspektive an.

Ministerialdirektor i. R. Dr. Helge Wendenburg, ehemals Abteilungsleiter Wasserwirtschaft, Ressourcenschutz im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, schildert unter Einbringung eigener Erfahrung und zahlreicher Beispiele sehr anschaulich die Verschmutzung der Meere mit Plastikmüll. Mit Blick auf die globalen Zusammenhänge zwischen Abfallmanagement und Meeresmüll wie auch einer näheren Betrachtung der Situation in Nord- und Ostsee zeigt *Wendenburg* die Ansätze der Völkergemeinschaft auf, um einer weiteren Vermüllung der Meere auf regionaler und globaler Ebene nachhaltig zu begegnen.

Prof. Dr. Christian Laforsch, Dr. Martin Löder, Sonya R. Moses, Sarah Piehl und Anja F. R. M. Ramsperger, Universität Bayreuth, zeigen uns aus biologischer Perspektive, welche Probleme Plastik in aquatischen Ökosystemen hervorruft. Instruktiv schildert der Beitrag die Situation der Meere und der erst in jüngerer Zeit näher untersuchten Ökosysteme in Flüssen und Seen. Als erschreckend erweisen sich die Funde von Mikroplastik selbst in weit abgelegenen Bergseen. Neben den Schwierigkeiten bei der Probeentnahme und -aufbereitung verdeutlichen die Autoren die vielfältigen nachteiligen Auswirkungen, die von Plastikteilen auf die Fauna und Flora in Gewässern ausgehen.

Prof. Dr. Liv Jaeckel, Technische Universität Freiberg, nimmt sich der Problematik der Mikroschadstoffe in Gewässern aus rechtlicher Perspektive an. Der Beitrag verdeutlicht, wie wichtig es ist, neben den Regelungen zum betroffenen Umweltmedium Wasser auch die Regulierung der Herkunftsquellen der Schadstoffe maßgeblich in das Lösungskonzept einzubeziehen und entwickelt Vorschläge für das besondere Beispiel der Arzneimittelrückstände in Gewässern.

Die Tagung wurde außerdem bereichert durch die Konferenzbeiträge von *Matthias Petschke*, EU-Kommission, Generaldirektion Binnenmarkt und Industrie, Direktor für EU-Satelliten- Navigationssysteme zum Thema „EU-Programme zur Satelliten-Navigation – Möglichkeiten und Herausforderungen im Sinne der Ressourcen-Erkundung“ sowie *Prof. Dr. Dr. h. c. Volker Mosbrugger*, Generaldirektor der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung zum Thema „Biodiversität als Ressource – eine globale Herausforderung“, die aufgrund der beruflichen Verpflichtungen der Vortragenden nicht zu einem schriftlichen Beitrag ausgearbeitet werden konnten.

In der Zusammenschau zeigen die Beiträge eindringlich, wie sehr der Mensch auf die drei großen uns umgebenden Systeme – den erdnahen Weltraum, die terrestrischen und die aquatischen Systeme – Einfluss nimmt. Wohin auch immer er gelangen kann, hinterlässt er bleibende Spuren. Sich auf die Bedeutung des Schutzes dieser grundlegenden Ressourcen zu besinnen, war Anliegen der Tagung, auf die dieser Band zurückgeht.

Zum Gelingen der Tagung hat das große Engagement vieler Mitwirkender beigetragen: Besonderer Dank gilt dem Staatssekretär im Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst Herrn *Uwe Gaul*, der die Tagung mit großem Interesse begleitet hat. Meinen lieben Kollegen, Herrn *Ministerialrat i. R. Dr. Michael Gruschwitz* (ehemals Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft und Vertreter der Deutschen Bundesländer in EU-Ratsgremien und Vertragsstaatenkonferenzen zu Biodiversität) und Herrn *Dr. Hans-Joachim Gericke* (ehemals Leiter der Akademie der Sächsischen Landesstiftung Natur und Umwelt Dresden, jetzt Vertreter des Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft im Verbindungsbüro des Freistaates Sachsen in Brüssel), die die Tagung mit mir gemeinsam geplant, umgesetzt und mit vielfältigen Anregungen bereichert haben, sei auf das Herzlichste gedankt. Dank gebührt auch Frau *Barbara Heidrich* von der Sächsischen

Landesstiftung Natur und Umwelt für die umsichtige Durchführung und Umsetzung der Tagung wie auch Frau *Evelyn Neuber* von der Technischen Universität Bergakademie Freiberg und meinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Frau *Navin Blumentritt*, Herrn *Robby Walkstein* und Herrn *Henryk Listewnik* für ihre tatkräftige Mitwirkung.

Für die finanzielle Unterstützung sowohl der Tagung als auch des vorliegenden Buches gilt besonderer Dank der Sächsischen Landesstiftung Natur und Umwelt.

Liv Jaeckel

Ressource Atmosphäre und Weltraum

Operating in the Space Debris Environment and some aspects of space debris mitigation

I. The Space Debris Environment

In more than 50 years of space activities, more than 5000 launches have placed some 6600 satellites into orbit, of which about 3600 remain in space; only a small fraction – about 1100 – are still operational today.

This large amount of space hardware has a total mass of more than 6500 tonnes. Not all objects are still intact. More than 23 000 space objects Earth orbits (as of September 2012) in total are regularly tracked by the US Space Surveillance Network and maintained in their catalogue, which covers objects larger than approximately 5 to 10 cm in low Earth orbit (LEO) and 30 cm to 1 m at geostationary altitudes (GEO).

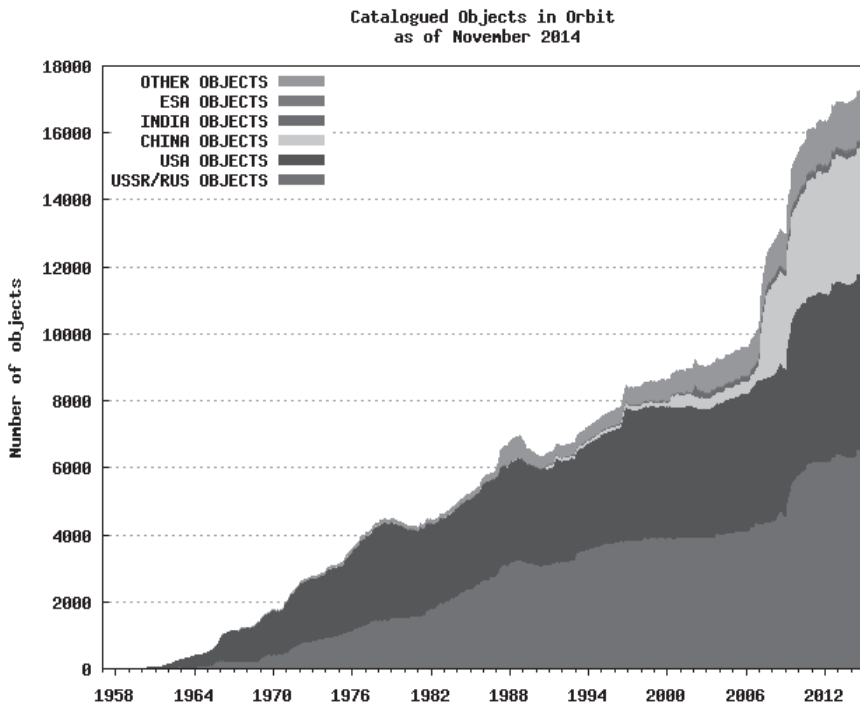


Figure 1: Objects tracked and maintained in the USSTRATCOM catalogue, Source: ESA

Only 6 % of the catalogued orbit population are operational spacecraft, while about 30 % can be attributed to decommissioned satellites, spent upper stages and mission-related objects (launch adapters, lens covers, etc.). More than 250 in-orbit fragmentation events have been recorded since 1961. Only a few were collisions (less than 10 accidental and intentional events); the majority of the events were explosions of spacecraft and upper stages. These are assumed to have generated a population of objects larger than 1 cm on the order of 750 000. Only near sizes of 0.1 mm to 1 mm may the sporadic flux from meteoroids prevail over man-made debris.

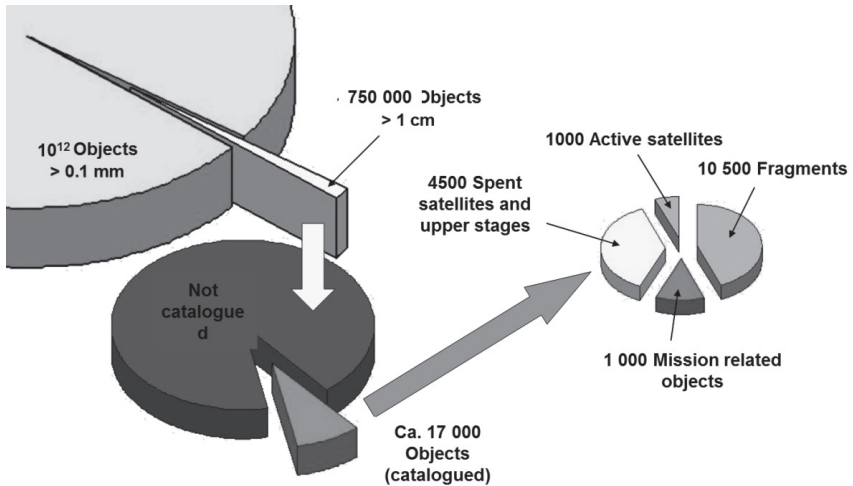


Figure 2: The overall Space Debris Population, Source: ESA

The main cause of in-orbit explosions is related to residual fuel that remains in tanks or fuel lines once a rocket stage or satellite is discarded in Earth orbit. Over time, the harsh space environment can deteriorate the mechanical integrity of external and internal parts, leading to leaks and/or mixing of fuel components, which could trigger self-ignition. The resulting explosion can destroy the object and spread its mass across numerous fragments with a wide spectrum of masses and imparted velocities.

Besides such accidental break-ups, spacecraft interceptions by surface-launched missiles have been a major contributor in the recent past. The Chinese Feng-Yun 1C engagement in January 2007 alone increased the trackable space object population by 25 %.

The first-ever accidental in-orbit collision between two satellites occurred at 16:56 UTC, 10 February 2009, at 776 km altitude above Siberia. An American privately owned communication satellite, Iridium 33, and a Russian military satellite, Kosmos-2251, collided at a relative speed of 11.7 km/second. Both were destroyed, and more than 2200 trackable fragments were generated.

The most important non-fragmentation debris source have been more than 1000 solid rocket motor firings, which released aluminium oxide (Al_2O_3) in the form of micrometre-sized dust and mm- to cm-sized slag particles. A second important source was the ejection of reactor cores from Buk reactors after the end of operation of Russian RORSATs (Radar Ocean Reconnaissance Satellites) in the 1980s. In 16 such ejection events, numerous droplets of reactor coolant liquid (a low-melting sodium potassium alloy) were released into space¹.

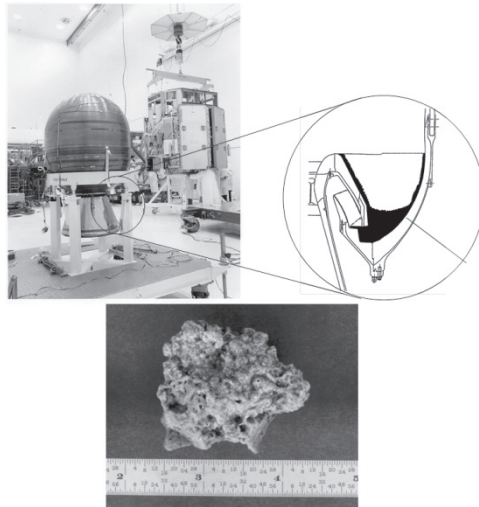


Figure 3: Aluminium oxide slag released from orbital solid rocket motors, Source: ESA

Another historic source was the release of thin copper wires as part of a radio communication experiment during the MIDAS missions in the 1960s².

Finally, under the influence of extreme ultraviolet radiation, impinging atomic oxygen and impacting micro particles, the surfaces of space objects, such as satellites, start to erode. This leads to mass loss of surface coatings and to the detachment of paint flakes with sizes from micrometre to mm sizes.

Observations with ESA's 1 m telescope at Tenerife have found a population of objects with extremely high area-to-mass ratios. The origin and nature of those objects is not fully understood. It is generally agreed now that these objects have been created

¹ Flegel S./Gelhaus J./Möckel M./Wiedemann C./Kemof D./Oswald D./Stabroth S., Alagöz C., MASTER-2009 Final Report – Maintenance of the ESA MASTER model, ESA Contract 21705/08/D/HK, June 7, 2011, <https://sdup.esoc.esa.int>, 2019-5-9.

² Flegel S./Gelhaus J./Möckel M./Wiedemann C./Kemof D./Oswald D./Stabroth S., Alagöz C., MASTER-2009 Final Report – Maintenance of the ESA MASTER model, ESA Contract 21705/08/D/HK, June 7, 2011, <https://sdup.esoc.esa.int>, 2019-5-9.

in the geostationary region, possibly from thermal covering material of disposed satellites.

Satellites launched into LEO are continuously exposed to aerodynamic forces from the tenuous upper reaches of the Earth's atmosphere. Depending on the altitude, after a few weeks, years or even centuries, this resistance will have decelerated the satellite sufficiently so that it reenters into the atmosphere. At higher altitudes, above 800 km, air drag becomes less effective and objects will generally remain in orbit for many decades. At any given altitude, the generation of debris through normal launch operations, break-ups and other release events is counter-acted by natural cleansing mechanisms, such as air drag and luni-solar gravitational attraction. The result of these balancing effects is an altitude-and-latitude-dependent concentration (spatial density) of space debris objects.

Maximum debris concentrations can be noted at altitudes of 800 to 1000 km, and near 1400 km. Spatial densities in GEO and near the orbits of navigation satellite constellations are smaller by two to three orders of magnitude. With today's annual launch rates of 60 to 70 new satellites per year, and with future break-ups continuing to occur at average historic rates of four to five per year, the number of debris objects in space will steadily increase. As a consequence of the rising debris object count, the probability for catastrophic collisions will also grow in a progressive manner; doubling the number of objects will increase the collision risk approximately four times. In a 'business-as-usual' scenario, such collisions will start prevailing over the now-dominating explosions within a few decades from now. Ultimately, collision fragments will collide with collision fragments, until the entire population is reduced to sub-critical sizes. This self-sustained process, which is particularly critical for the LEO region, is known as the 'Kessler syndrome'. It is a scenario that must be avoided by the timely application of space debris mitigation and remediation measures on an international scale.

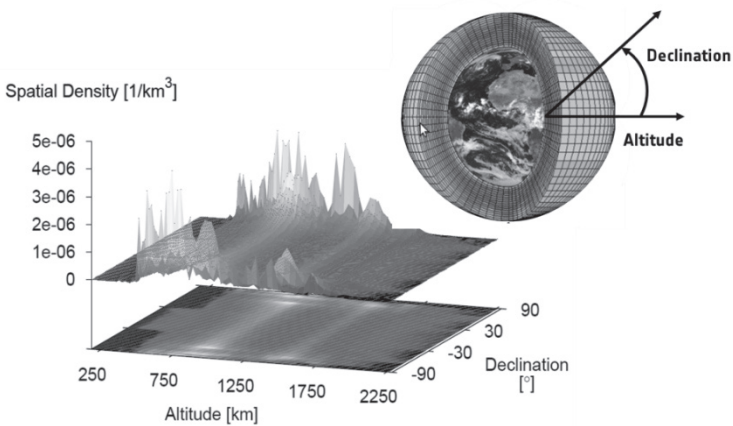


Figure 4: Current distribution of spatial density of objects > 1cm, Source: ESA

II. Observations of Space Debris

Space object catalogues, as generated and maintained by space surveillance networks, are limited to larger objects, typically greater than 10 cm in low Earth orbits and greater than 1 m at geostationary altitudes. These sensitivity thresholds are a compromise between system cost and performance.

Knowledge of the meteoroid and space debris environment at sub-catalogue sizes is normally acquired in a statistical manner through experimental sensors with higher sensitivities. Ground-based telescopes can detect GEO debris down to 10 cm in size, ground-based radars can detect LEO debris down to a few mm in size, and in-situ impact detectors (detectors flying on-board spacecraft) can sense objects down to a few micrometres in size. And while telescopes are mainly suited for GEO and high-altitude debris observations, radars are advantageous in the low-Earth orbit (LEO) regime, below 2000 km.

ESA collaborates primarily with the operators of the German TIRA system (Tracking and Imaging Radar), located at the Fraunhofer FHR (Institute for High Frequency Physics and Radar Techniques), near Bonn, Germany.

TIRA has a 34-metre dish antenna operating in L-band for debris detection and tracking (1.333 GHz, 0.45° beam width, at 1 MW peak power). Apart from tracking campaigns, the radar also conducts regular 'beam park' experiments, where the radar beam is pointed in a fixed direction for 24 hours, so that the beam scans 360° in a narrow strip on the celestial sphere, during a full Earth rotation.

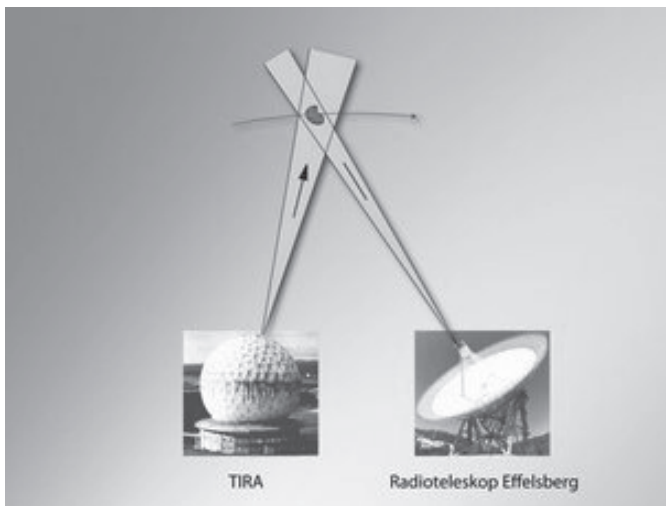


Figure 5: TIRA/Effelsberg bi-static beampark experiment, Source: ESA

In such experiments, TIRA can detect debris and determine coarse orbit information for objects of diameters down to 2 cm at 1000 km range. In a bi-static mode, together with the 100 m receiver antenna of the nearby Effelsberg radio telescope, the overall sensitivity increases toward 1 cm objects. A special seven-horn receiver, developed for the Effelsberg radio telescope, allows better resolution of object passages, permitting a reliable assessment of the object's radar cross-section.

In Tromsø, Norway, the EISCAT Scientific Association (European Incoherent Scatter Radar) operates a 930 MHz UHF radar and a 225 MHz VHF radar. Furthermore, they own a 500 MHz radar system consisting of a steerable 32 metre dish and a fixed 42 metre dish in Longyearbyen, Svalbard.

The primary mission of the EISCAT network is to perform ionospheric measurements. However, following the development of a dedicated space-debris computer to run at the back-end of the processing units, these radars are now capable of statistical observations of LEO debris down to 2 cm, without compromising the main EISCAT objectives.

The EISCAT radars now allow a continuous monitoring of the LEO debris population in a beam park-type configuration. As an example, EISCAT was able to monitor and characterise China's Feng-Yun 1C debris cloud, generated at 800 km altitude in January 2007, following the worst single fragmentation event in space history.

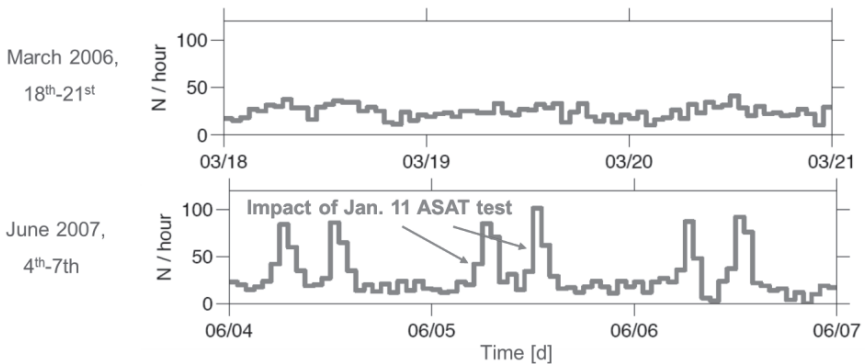


Figure 6: EISCAT breampark experiment results before and after the FY-IC ASAT test

At the Teide Observatory at Tenerife, Spain, ESA operates the Optical Ground Station (OGS), where a Zeiss 1 metre telescope is used for the survey and characterisation of objects near the geostationary ring. The telescope is equipped with Ritchey-Chrétien optics, with an FOV (field of view) of about 0.7°, highly efficient CCD Cameras.

The telescope can detect and track near-GEO objects up to magnitudes of +19 to +21 (i.e. down to 15 cm in size). With this performance, the ESA telescope is top-ranked worldwide. During GEO observation campaigns, typically 75 % of all

detections are new objects that are not contained in the US Space Surveillance Catalogue.

The data provided by the telescope are a major input for space debris environment models, indicating a much larger number of GEO fragmentation events than confirmed so far (a Soviet Ekran 2 satellite explosion in 1978 and a US Titan Transtage break-up in 1992). Observations of highly eccentric orbits passing through GEO led to the discovery of a class of faint, lightweight objects with high area-to-mass ratios. Orbital characteristics indicate that those could be pieces of thermal blankets of satellites.

ESA also gains information on the small-size, sub-millimetre meteoroid-and-space-debris environment through the analysis of retrieved space hardware, such as the EURECA satellite, and the three solar arrays retrieved from the Hubble Space Telescope via the Space Shuttle. The total exposed surface that was analysed exceeded 300 square metres. The samples contained several thousand impact craters from a few micrometres up to a 7 mm in diameter. An analysis of chemical residues in the craters allowed a discrimination of possible sources of the impacting objects.

For orbits above 600 km, and for inclinations outside the capability of current vessels, the retrieval of space hardware for assessment is not possible and active in-situ sensors are required to measure impact fluxes.

III. Protection and Shielding in the Design of Satellites

The consequences of meteoroid and debris impacts on spacecraft can range from small surface pits due to micrometre-size impactors, via clear hole penetrations for millimetre-size objects, to mission-critical damage for projectiles larger than one centimetre.

Any impact of a 10 cm catalogue object on a spacecraft or orbital stage will most likely entail a catastrophic disintegration of the target. This destructive energy is a consequence of high impact velocities, which can reach 15 km/second for space debris and 72 km/second for meteoroids.

Since only larger space objects can be catalogued and tracked, only these can be avoided through active measures or by evasive manoeuvres. Smaller, uncatalogued objects can only be defeated by passive protection techniques, as used with the International Space Station (ISS).

The effects of hypervelocity impacts are a function of projectile and target material, impact velocity, incident angle and the mass and shape of the projectile.

Beyond 4 km/second (depending on the materials), an impact will lead to a complete break-up and melting of the projectile. Typical impact velocities are around 14 km/s for space debris, and significantly higher for meteoroids.

At low velocities, plastic deformation normally prevails. With increasing velocities the impactor will leave a crater on the target. Beyond 4 km/second (depending on

the materials), an impact will lead to a complete break-up and melting of the projectile, and an ejection of crater material to a depth of typically two to five times the diameter of the projectile.

In hypervelocity impacts, the projectile velocity exceeds the speed of sound within the target material. The resulting shock wave that propagates across the material is reflected by the surfaces of the target, and reverses its direction of travel. The superimposition of progressing and reflected waves can lead to local stress levels that exceed the material's strength, thus causing cracks and/or the separation of spalls at significant velocities.

With decreasing target thickness, the effects range from cratering, via internal cracks, to spall detachment, and finally to clear hole perforations.

ESA's space projects use damage assessment tools in combination with debris and meteoroid environment models to predict potential damage from hypervelocity impacts, and to define effective protection measures through shielding and design. ESA experts have been actively involved in the development and testing of protective shields for the Columbus manned modules of the ISS. Protection is achieved through Whipple shields with aluminium and Nextel-Kevlar bumper layers.

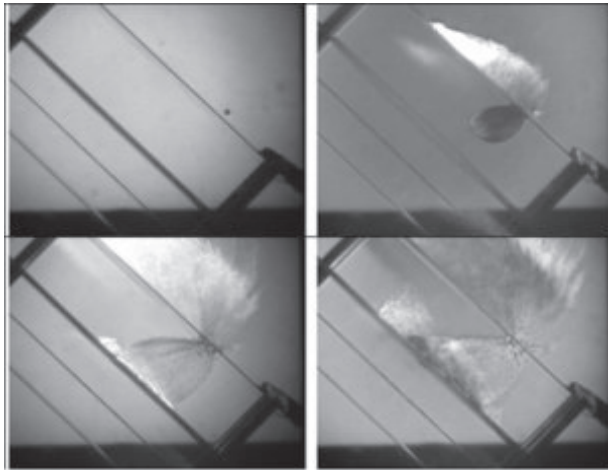


Figure 7: Ground-Test HVI results of a multi-layer whipple shields, Source: ESA

The shields are composed of an external, thin bumper shield that is exposed to the debris flux and causes the impactors to completely disintegrate during impact. The resulting cloud of liquid projectile and target material that forms behind the bumper leads to a much wider spatial and temporal distribution of momentum, allowing the back wall of the shield to withstand the impact pressure.

Intermediate fabric layers further slow down the cloud particles. Today, these shields have reached a mature state of development. Material models for composite