

## Weltraummüll – Fakten für ein Thema mit fächerverbindenden Aspekten

### 1. Einleitung

Chinesische Wissenschaftler gehen davon aus, das aufgrund des sich häufenden Weltraummülls im Jahre 2300 keine Raumfahrt mehr möglich sein wird! Weltraummüll wird aber bereits heute immer mehr zu einem Problem, nicht nur für die Raumfahrt auch für uns auf der Erde. Im folgenden sollen einige der vielfältigen Facetten, die Inhalte und Schwerpunkte mehrerer Fächer berühren aufgezeigt werden.

Seit fast einem halben Jahrhundert, im nächsten Jahr begehen wir den 50. Jahrestag des Starts des ersten künstlichen Himmelskörpers „Sputnik 1“, betreibt die Menschheit Raumfahrt. Aber genauso wie wir auf der Erde das Problem Umweltverschmutzung erst spät als ein Problem erkannten, wird das Problem „Weltraummüll (engl. space debris oder auch space junk), sozusagen eine weitere Umweltverschmutzung, erst seit knapp 25 Jahren als solches erkannt.

#### 2.1. Kurze Übersicht über Größe und Häufigkeit der Objekte

Seit Sputnik 1 wurden fast 3.000 Raumflugkörper ins All gestartet, davon gelten ca. 700 noch als funktionstüchtig. Die restlichen ca. 2300 Satelliten stellen die Hauptquelle für den „großen“ Müll dar. Eine nähere Analyse zeigt, das der Müll hinsichtlich Größe, Art und Herkunft sehr inhomogen ist. Zur Zeit befinden sich ca. 3000t Weltraummüll im Orbit, das jährliche Wachstum liegt bei ca. 2% -5 %. Diesem Anwachsen stehen seit 1957 nur etwas mehr als 16.000 Wiedereintritte von Objekten in die Atmosphäre gegenüber. Dabei variiert die Größe der für die Raumfahrt relevanten Teilchen von einigen Zehntel Millimetern bis hin zu einigen Metern. Ausgediente Satelliten und abgebrannte Raketenoberstufen im Meterbereich stellen dabei nur die Spitze des Eisbergs dar. Das Verhältnis von Größe der Objekte zu deren Anzahl sieht ungefähr wie folgt aus:

>1mm: 40 Millionen Objekte  
>1cm: 110.000 Objekte  
>10cm: 11.000 Objekte.

Um die Gefahren richtig einschätzen zu können und um eine eventuelle Strategie zu zur Vermeidung des Weltraummülls entwickeln zu können muß zu erst ein Blick auf die Quellen für diese Objekte geworfen werden

#### 2.2. Quellen des Weltraummülls

##### 1. Starts von Raumflugkörpern: Oberstufen, Nutzlasten, missionsbedingte Objekte (1 cm...10 m)

Dazu gehören neben den genannten Objekten beispielsweise abgesprengte Haltebolzen oder auch Abdeckungen, Treibstofftanks, ausgebrannte Raketentriebwerke etc.. Um die Gefahr für die Raumfahrt zu minimieren versucht man von der Erde aus eine Überwachung dieses Weltraummülls zu realisieren. Aufgrund der physikalisch/technischen Grenzen kann man zur Zeit nur Objekte größer als 10 cm beobachten. Für den erdnahen Raum verwendet man dazu Radarteleskope, ab einer Höhe von ca. 5000 km werden optische Teleskope eingesetzt. Zur Zeit werden ca. 11.000 Objekte ständig verfolgt und mit den Bahnen von aktiven Raummissionen verglichen. Verschiedene Nationen betreiben solche Überwachungsstationen. In Deutschland werden beispielsweise zweimal im Jahr solche Scans vom Forschungsinstitut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik in Wachenberg durchgeführt. Dabei stellt sich schnell ein Problem, welches in noch größerem Maße in den USA bei dem rund um die Uhr tätigen US Strategic Command/Space Surveillance auftritt: es fallen gewaltige Datenmengen im Terabytebereich bei der Beobachtung, Zuordnung und Auswertung sowie Speicherung der Meßwerte an. Um diese Daten auszuwerten, mußten neuartige Datenbanksysteme aufgebaut werden die in der Lage sind, den Anforderungen in Echtzeit zu entsprechen. Dies ist besonders wichtig hinsichtlich der politisch und militärischen Bedeutung dieses Projektes: das plötzliche Auftauchen von Objekten auf dem Radar könnte zu einem

Fehlalarm der Streitkräfte verschiedener Länder führen. Diese Objekte könnten als ballistische Interkontinentalraketen interpretiert werden. Auf Grund der hohen Geschwindigkeiten dieser Raketen sind schnelle Verteidigungsreaktionen erforderlich. Die Gefahr einer entsprechenden Reaktion wird durch diese ständigen Überwachungen minimiert.

## 2. Fragmentationen: Explosionen, Kollisionen (0,1 mm...10 cm)

Diese Quelle stellt das wohl größte Gefährdungspotenzial für die Raumfahrt dar. Teilchen im Bereich von 1 cm...10 cm sind bisher nicht von der Erde aus zu beobachten, aber mit Geschwindigkeiten bis zu 36.000 km/h (10 km/s) sehr schnell und damit sehr energiereich. Die gegenwärtigen oder geplanten Schutzschilde versagen aber bei Teilchengrößen von über 1cm. Eine Hauptquelle für diese Teilchen sind die (nahezu) leer gebrannten Antriebsstufen von Raketen. Da sie oft mit mehr Treibstoff als erforderlich gefüllt wurden, um noch eine Sicherheitsreserve zu besitzen, verblieb häufig noch Resttreibstoff in den ansonsten nutzlosen Tanks. Aufgrund der extremen Druck- und Temperaturverhältnisse sowie der unter diesen Bedingungen ablaufenden chemischen Reaktionen in den Tanks kommt es dann öfters zu Explosionen und damit zur Erzeugung weiterer Müllteile.

Eine weitere Quelle für Weltraummüll war ursprünglich ein groß angelegtes Experiment um die Kommunikation, auch mit den Satelliten, zu verbessern. In den 60er Jahren wurden durch US-Satelliten mehrere Millionen kleine Kupfernadeln, die sogenannten „West Ford Needles“, in Höhen von ca. 3.600 km freigesetzt. Sie sollten zum Test und Verbesserung von Nachrichtenübertragungen dienen. Durch verschiedene Prozesse „verklumpten“ sie allerdings und so entstanden nun Tausende von Nadelballen. Auf Grund der Bahnhöhe werden sie noch auf lange Zeit ein Problem für die Raumfahrt darstellen. Nicht vergessen werden sollen aber auch die gezielten Sprengungen von militärischen Satelliten. Sie haben ebenso nicht unwesentlich zu dieser Gruppe von Weltraummüll beigetragen.

## 3. Weitere Quellen: Feststoffmotoren, Flüssigmetalltropfen, Oberflächendegradationen (0,001 mm...10 mm)

Die üblicherweise eingesetzten Festtreibstoffe enthalten Aluminiumverbindungen. Nach Abbrand entstehen daraus bis zu 1 cm Schlacketeilchen sowie weitere Staubteilchen im Bereich von 0,05 mm. Körper ähnlicher Größe stammt von ehemaligen Kernreaktoren. In den 60er und 70er Jahren wurden Kernreaktoren zur Langzeitenergieversorgung von Satelliten getestet und auch eingesetzt. Nach Ende des Einsatzes wurden diese Satelliten in eine höhere Parkbahn gebracht und der Reaktor abgestoßen. Dabei wurde die Kühlflüssigkeit des Reaktors freigesetzt. Diese nahm unter den Bedingungen des Alls Kugelform an. Die auch heute noch im All befindliche Tropfen haben dabei Größen von 0,1mm bis zu 5 cm! Aufgrund der Gefahren beim Umgang und Nutzung radioaktiver Energiequellen, sowie der Weiterentwicklung anderer Energiequellen wie Solarzellen oder Brennstoffzellen, werden solche Reaktoren für Missionen im erdnahen Raum heute nicht mehr eingesetzt.

Das auch Objekte im Mikrometer- und Millimeterbereich große Schäden anrichten können zeigt u.a. die Häufigkeit des Wechsels von Bullaugen der Space Shuttles: bisher 80 mal mussten Fenster wegen Mikroeingschläge gewechselt werden, der Großteil dabei wegen des Zusammenstoß mit künstlichem Weltraummüll! Schon der Einschlag eines 0,3 mm großen Farbrests macht beispielsweise den Austausch eines solchen Fensters erforderlich! Ursache für diese große Schadenswirkung sind die Geschwindigkeiten der Objekte. Liegen sie typischerweise im Bereich von 10 km/s, können sie aber auch bis zu 15 km /s erreichen! Dabei können „Körner“ im Zentimeterbereich eine Bewegungsenergie besitzen, die beim Auftreffen der Sprengkraft einer Handgrante entspricht!

### 2.3. Wo befindet sich der Weltraummüll?

Auch hinsichtlich der räumlichen Verteilung differieren die Objekte des Weltraummülls stark. Da die Raumflugkörper die Hauptquelle des Weltraummülls sind, findet man den Müll in den gleichen Bahnbereichen und Regionen wie die Satelliten. Grob kann man die Orbits der wichtigsten Satelliten in 2 große Gruppen unterteilen:

#### 1. Niedriger Erdorbit (Low Earth Orbit: LEO)

Dieser Orbit reicht bis zu einer Höhe von ca. 1.000 km, der Grenze der „spürbaren“ Erdatmosphäre. Typischerweise werden diese Orbits für alle bemannten Missionen (mit Ausnahme der Mondmissionen), Überwachungs- und Forschungssatelliten etc. benutzt. Die Umlaufdauern liegen typischerweise zwischen 90 min (250 km) und 105 min (1.000 km). Ungefähr 80% aller Raumflugkörper befinden sich in Umlaufbahnen von bis zu ca. 800 km Höhe also im LEO, zum Vergleich: die bemannte Raumfahrt (ISS, Space Shuttle, Sojus, Shenzhou) spielt sich im wesentlichen im Höhenbereich von 350 km..400 km ab. In diesen Höhen tritt ein Selbstreinigungseffekt durch die noch vorhandene Atmosphäre auf. Allerdings nimmt dieser mit zunehmender Höhe stark ab.

#### 2. Geostationärer Orbit (GEO)

Ein geostationärer Orbit (36.000 km) wird erreicht, wenn die Umlaufbahn des Satelliten kreisförmig ist und in der Äquatorebene liegt. Dieser Satellit erscheint einem Beobachter auf der Erde immer am gleichen Ort. Diese Anordnung wird vor allem für Telekommunikations- aber auch Wettersatelliten genutzt. Das Problem in dieser Höhe ist die fehlende „Selbstreinigung“ durch die dort fehlende Atmosphäre. Dadurch „füllt“ sich der zunehmend knapper werdende Platz. Die dort positionierten Satelliten sowie die dort erzeugten „Müllobjekte“ verbleiben in diesen Bahnen und reduzieren damit die Anzahl der Möglichkeiten für die Positionierung neuer Satelliten. Um die Zahl der Satelliten auf solchen geostationären Bahnen trotzdem zu erhöhen, wurde im Laufe der Jahre die festgelegten Mindestsicherheitsabstände mehrfach verringert. Dies konnte erreicht werden durch Verbesserungen auf dem Gebiet der Ortung und Verfolgung von Satelliten in dieser Entfernung sowie durch bessere Steuer- und Antriebssysteme.

### 3.1. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstoßes?

Nach Analyse der Quellen, der Teilchengrößen und deren Häufigkeiten stellt sich nun die Frage: wie groß ist eigentlich die Gefahr eines Zusammenstoßes von Weltraummüll im All oder sogar eines Einschlags auf der Erde mit dadurch entstehenden Schäden?

Für einen großen Satelliten, wie den Erdüberwachungssatelliten der europäischen Weltraumorganisation ESA „ERS“, der eine Fläche (inkl. Antennen und Solarpaneele) von 30 Quadratmetern hat, würde die durchschnittliche Zeit zwischen zwei Kollisionen mit Müllbrocken größer als 10 cm ungefähr 4000 Jahre betragen! Heißt das Entwarnung? Nein! Unter Berücksichtigung der Anzahl der vielen unterschiedlichen Satelliten und deren Größen kommt man zu dem Ergebnis, das im Durchschnitt alle 10 Jahre eine Satellit zerstört wird! Auf Grund der größer werdenden Dichte des Satellitennetzes (beispielsweise durch den Aufbau des europäischen Navigations satellitensystems „Galileo“) und dem zunehmenden Müll wird diese Zeitdauer sich immer weiter reduzieren!

Die ca. 200 in die Erdatmosphäre pro Jahr eintretende Objekt haben eine geschätzte Gesamtmasse von ca. 200t. Ein Teil verglüht in der Atmosphäre und ca. 20% überstehen den Flug durch die Atmosphäre. Davon treffen dann maximal 5% auf Land. Die Wahrscheinlichkeit das ein Mensch von einem Brocken Weltraummüll getroffen wird beträgt 1:1 Trillionen und ist damit eine Millionen mal kleiner als von einem Blitz getroffen zu werden.

### 3.2. Größere Objekte die auf der Erde aufschlugen

Durch die wachsende Zahl der Objekte im All steigt natürlich auch die Wahrscheinlichkeit das Objekte in die Erdatmosphäre eintreten und Reste oder ganze Teile bis zur Erdoberfläche gelangen.

Bekanntestes Beispiel der letzten Jahre war der Absturz der russischen Raumstation „Mir“. Hier wurde allerdings durch eine raumfahrttechnische Meisterleistung dafür gesorgt, das die ca. 25 t, welche den Flug durch die Atmosphäre überstanden hatten, planmäßig in den Pazifik fielen. Dies wurde dadurch möglich, das zu mindestens der Beginn des Absturzes durch entsprechende aktive Bahnmanöver eingeleitet wurde. Beim Großteil der Satelliten ist dies allerdings nicht möglich. Allerdings sind bisher nur wenige Beispiele bekannt bei denen große Bruchstücke auf die Erde fielen. Damit dies geschieht, müssen große Satelliten oder Raumschiffe abstürzen. Neben der „Mir“ waren das:

1.11. Juli 1979: Absturz der amerikanischen Raumstation Skylab. Auf Grund verstärkter Sonnenaktivitäten wurde die Raumstation stärker abgebremst als vorhergesehen und konnte deswegen nicht mehr auf einer Umlaufbahn gehalten werden. Mehrere große Bruchstücke mit einer Gesamtmasse von ca. 20 t gingen über dem Pazifik und Westaustralien Australien nieder ohne dabei Sach- oder Personenschäden anzurichten.

2.24.01.1978: Absturz des sowjetischen Satelliten Kosmos- 954. Dieser Satellit stürzte in Kanada im Gebiet des „Großen Sklavensees“ ab. Besondere Brisanz erhielt der Absturz dadurch, das dieser Satellit einen Kernreaktor an Bord hatte. Ein Schauer von radioaktiv verstrahltem Weltraummüll ging über die glücklicherweise nur dünn besiedelte Region nieder. Nach wochenlangem Aufräumen stellte die kanadische Regierung der UdSSR eine „Aufräumrechnung“ in Höhe von einigen Millionen Dollar in Rechnung – bezahlt wurde wahrscheinlich nur die Hälfte.

3. Am 7. Februar 1991 stürzte die sowjetische Raumstation Saljut 7 über dem Süden Argentinien ab. Die Ursachen waren ähnlich wie beim Absturz von Skylab. Das größte der 6 gefundenen Bruchstücke schlug ca. 50 m neben einem Wohnhaus 700 km westlich von Bueno Aires auf.

### 3.2. Weltraumrecht – was geschieht wenn ein Zusammenstoß geschieht?

Wenn aber nun der Fall eintritt, das ein Satellit durch Weltraummüll beschädigt oder sogar zerstört wird oder ein solches Objekt auf der Erde Schaden anrichtet: wer haftet für die Folgen? Wie sehen die rechtlichen und versicherungstechnischen Fragen aus?

Bevor man das technische Problem Weltraummüll als solches erkannt hatte und Überlegungen zu seiner Lösung bzw. Eindämmung anstellte, wurden die grundlegenden rechtlichen Probleme bereits diskutiert. Angetrieben durch die hohe Verlustrate an Satelliten zu Beginn des Raumfahrtzeitalters wurden bereits zu Beginn der 60er Jahre über solche Probleme wie Haftung bei Unfällen, Rückführung von gelandeten Kapseln oder sogar Raumfahrern etc. und deren rechtlichen Bedeutung und Konsequenzen diskutiert. Federführend dabei waren natürlich die damals einzigen Raumfahrtnationen USA und UdSSR. Dabei muß die damalige politische Lage, auch bekannt als Periode des Kalten Krieges, berücksichtigt werden. Trotz dieser politisch und auch militärischen Erschwernisse wurden bereits 1966/67 Jahre erste Abkommen und Verträge zum Weltraumrecht ausgehandelt und abgeschlossen. Diese Verträge wurden in den folgenden Jahren ausgebaut und den sich verändernden Bedingungen angepasst. Außerdem wurden, in teilweise sehr zähen und langwierigen Verhandlungen, die Interesse und Wünsche der neu hin zu kommenden Raumfahrtnationen versucht mit ein zu binden. Unter Führung der UNO wurde auf dieses Weise die Grundlagen des Weltraumrechts entwickelt. So ist der Staat der ein Raumflugkörper startet oder von dessen Territorium ein Raumflugkörper gestartet wird auch weltweit verantwortlich für von diesem Objekt evtl. verursachte Schäden. Dabei werden auch Schäden an anderen Objekten und Personen im All oder an anderen Flugobjekten in der Atmosphäre mit berücksichtigt. Auch sind alle Staaten die die entsprechenden Verträge unterzeichnet haben verpflichtet, eventuelles Wissen über zu erwartenden Schäden oder Gefahren an Raumfahrzeugen oder Raumfahrern sofort zu melden. Die Verträge sehen auch vor, das ein eventuell in einem andere Land „gestrandeter“ Raumfahrer unverzüglich an sein Heimatland zu übergeben ist. Dieses Weltraumrecht ist allerdings nur für die Staaten verbindlich, die die entsprechenden Verträge unterschrieben haben. Leider gibt es immer noch einige wenige Staaten die dies nicht getan haben.

### 3.3. Was tun gegen den Müll

Was kann man tun um Weltraummüll zu vermeiden? Da zur Zeit keine realistische Methode in Sicht ist, den Weltraummüll zu beseitigen, liegt der Schwerpunkt der Forschung auf der Entwicklung von Methoden zu seiner Vermeidung. Dabei sind einige Entwicklungen bereits „im Dienst“ während andere noch im Entwicklungsstadium sich befinden. Die meisten Vorschläge und Richtlinien wurden 2002 von einer Kommission zusammengestellt in der die 11 größten Weltraumagenturen zusammen arbeiten. Sie beinhalten einige grundlegende Empfehlungen die zwar keinen Status eines Gesetzes haben, aber von den Satellitenbetreibern und –herstellern sehr ernst genommen werden:

1. Für die neusten Antriebsstufen der amerikanischen Delta-Raketen wurden beispielsweise Systeme installiert, die den Treibstoff vollständig verbrennen um so einer Explosion vorzubeugen. Die europäischen Ariane-Raketen und die japanische H-1 Raketen dagegen lassen den Resttreibstoff ins All ab.

2. Nach Missionsende sollen die Satelliten welche sich in niedrigen Umlaufbahnen befinden in noch niedrigere Umlaufhöhen gebracht werden, damit sie dann durch die zunehmende Luftreibung abstürzen und verglühen. Satelliten in geostationären Bahnen sollen um ca. 300 km angehoben werden um dort in einem Art Satellitenfriedhof auf lange Zeit geparkt zu werden. Eine Analyse der letzten Jahre zeigte jedoch, das nur 1/3 der Betreiber von GEO-Satelliten dieser Anforderung nachkommt, 1/3 belässt ihre Satelliten am „alten“ Platz und 1/3 hebt die Bahn nur um 100km-200km an, auf lange Sicht nicht ausreichend genug.

3. Technologische Änderungen an verschiedenen Systemen sollen dafür sorgen, das das übliche Absprengungen von Bolzen oder Haltesystemen nicht mehr nötig ist.

Eine weitere interessante Überlegung wurde bei der Entwicklung zukünftiger, neuer Module für die Raumstation ISS ins Spiel gebracht. Anstatt mit starken Panzerungen auf die zunehmende Gefahr eines Einschlags, dabei sind auch die natürlichen Meteoroiden zu berücksichtigen, zu reagieren, denkt man über den Einsatz „aufblasbarer“ Module nach. Diese „Gummimodule“ würden sich durch ihren Aufbau und den Druckunterschied zwischen dem Luftinnendruck und dem fehlenden Außendruck des luftleeren Raumes, selbst stabilisieren und die gewünschte Form annehmen. Bei Einschlägen sollte sich das Modul an der geschädigten Stelle zusammenziehen und so selbst abdichten. Natürlich können dabei weitere Schäden im Inneren auftreten, aber ein Druckabfall in der Station und damit ein lebensgefährlicher Zustand könnte vermieden werden.

### 3.4. Wie wirken sich diese neuen Vorschläge aus?

Diese zusätzlichen Anforderungen bringen natürlich zusätzliche Kosten für die einzelnen Missionen. Besonders bei Satellitenmissionen von privaten Betreibern werden Abschätzungen über die zusätzlichen Kosten und die im Verhältnis dazu entstehenden Nachteile bei der Vergabe von neuen Lizenzen. Aber auch die großen Versicherer wie die Münchner Rück beobachten die Entwicklung zur Bekämpfung des Weltraummülls sehr aufmerksam. Viele der Betreiber von versicherten Satelliten unterliegen bereits den neuen Regelungen und in naher Zukunft werden ähnliche Regelungen in anderen Ländern folgen. Für die Versicherer ist es auf lange Sicht sicher von Vorteil, wenn ein sicheres Umfeld für Weltraumaktivitäten gewährleistet wird. Auch die Verbesserungen der Stabilität der Satelliten liegt im Interesse der Versicherer. Allerdings werden dadurch die Kosten für die Vorhaben entsprechend steigen: höhere Konstruktionskosten, mehr Treibstoff, geringere Lebensdauer – die Einnahmen sinken. Dies kann dann zu einem Anstieg der Versicherungssummen führen. So befürchten zwei der größten privaten Satellitenbetreiber (SES Americom und PanAmSat) das ihre Einnahmen bei Umsetzung der neuen Richtlinien um 77 Mio. bzw. 140 Mio. US\$ sinken werden.

#### 4. Fazit

Das Problem Weltraummüll ist ein echtes Problem für die weitere Entwicklung der Raumfahrt geworden. Es zeigt aber auch, dass die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Raumfahrt sehr gut funktioniert – ein Vorbild für andere Bereiche des internationalen Lebens. Man sieht aber auch die vielen Facetten des Problems: Astronomie und Raumfahrttechnik, Physik, Himmelsmechanik, Mathematik, Informatik, Recht und Wirtschaft – all diese Fächer fließen ein bei dem Verständnis des Problems und auch bei der Lösung.

Übrigens hat sich die Problematik Weltraummüll auch schon bis zum Bereich der Kunst herumgesprochen. Sei es das der englische Begriff in leicht geänderter Form „Junk Space“ einem Theaterstück seinen Namen gibt oder das auf einer Musik CD das Geräusch von fliegendem und aufschlagendem Weltraummüll zu hören ist. Aber auch hier sollte man trotz aller Kunst physikalisch denken: solange der Weltraummüll im All sich befindet kann man ihn nicht hören – auch wenn es uns die Musik- und Filmindustrie immer wieder anders einreden will, das All an sich ist still!

Kontrollfragen

1. Bei einer gegenwärtigen Masse von 3000t Weltraumschrott und einer angenommenen Wachstumsrate von 3% soll im Jahr 2300 keine Raumfahrt mehr möglich sein – so die Aussage von chinesischen Wissenschaftlern. Wie groß ist dann die Masse der im Erdorbit sich befindenden Masse an Weltraummüll?

2. Weltraummüll bewegt sich in erdnaheer Bahn typischerweise mit einer Geschwindigkeit von 10 km/s. Wie groß ist die kinetische Energie eines 2 cm großen Aluminiumkugelchens das aus der Aluminiumbeimengungen zu den Festtreibstoffen gebildet wurde?

- Berechnung Kugelvolumen von 33,5 Kubikzentimeter
- Aluminiumdichte: 2,7g/cm<sup>3</sup>
- Masseberechnung: 90,5 g=0,09kg
- $W=9 \cdot 10^6 \text{ Nm}$

3. Welches waren die ersten Raumfahrtnationen? Nenne drei weitere Nationen bzw. Staatenbündnisse die in der Lage sind Satelliten zu starten!

- UdSSR und USA
- Japan, China, Indien, Europäische Union

4. Erläutere Vor- und Nachteile der Positionierung eines Satelliten auf einer geostationären Bahn!

- einmalige Positionierung in dieser Bahn macht Bahnkorrekturen so gut wie unnötig → lange Lebensdauer
- einmalige Ausrichtung der Antenne auf einen Punkt der Erdoberfläche bleibt erhalten → einfache Signal- und Datenübertragung
- keine Reparaturmissionen möglich
- keine Abbremsung durch Erdatmosphäre → Weltraummüll
- „wenig Platz“

5. Berechne die Geschwindigkeit eines Satelliten in 250 km Höhe über der Erdoberfläche bei einer Umlaufzeit von 90 min!

- $v=2\pi r/T$
- $r=6378 \text{ km (Äquator)} + 250 \text{ km}=6628 \text{ km}$
- $v=7,7 \text{ km/s}$

6. Warum werden Objekte des Weltraummülls mit Größen unter 10 cm nicht verfolgt?

- bei den Abständen zur Erdoberfläche reicht die Auflösung der eingesetzten Teleskope nicht

aus

7. Eine mit 3 Raumfahrern bemannte Raumkapsel landet bedingt durch technische Probleme in einem fremden Land. Bei der Landung wird eine Brücke beschädigt. Wer haftet für den Schaden? Können die Raumfahrer bis zur Reparatur festgehalten werden?

- wenn das Land den Weltraumvertrag unterschrieben hat müssen die Raumfahrer unverzüglich ausgeliefert werden
- das Heimatland der Astronauten kommt für den Schaden auf

8. Trotz der Gefahren von Kernreaktoren, beispielsweise beim Start, wurden mehrere Reaktoren ins All geschossen. Warum wurde dies getan und warum werden sie heute bei Missionen im erdnahen Raum nicht mehr eingesetzt?

- Kernreaktoren stellen über lange Zeit die Energieversorgung von Satelliten her
- Die technische Entwicklung von Solarzellen und Brennstoffzellen ermöglicht es auf den Einsatz im erdnahen Raum zu verzichten, bei Langstreckenmissionen werden immer noch radioaktive Materialien eingesetzt (Cassini etc.)

9. Warum nehmen die flüssigen Kühlmittelteilchen der Kernreaktoren im All Kugelform an?

- auf Grund der Schwerelosigkeit in der sich diese Teilchen befinden nehmen sie den energetisch günstigsten Zustand an: Kugelform

10. Erläutere den Vorteil von sogenannten Gummimodulen?

- geringe Masse und geringer Platzbedarf beim Transport → Treibstoffeinsparung
- Formhaltung durch Luftinnendruck
- Abdichten von kleinen Einschlägen, besserer Schutz der Personen im Modul

Übersicht der Bezüge im WiS! Beitrag „Weltraummüll“

Astronomie	Erde, Sonne, Raumfahrt	Sonnenaktivität und Wechselwirkung mit Erdatmosphäre
	Astronomie – Physik	Energieumwandlungen, Energieerzeugung im All, Teleskoptechniken, Himmelsmechanik: Umlaufbahnen GEO,LEO
	Astronomie- Mathematik	Wahrscheinlichkeitsrechnung, Prozentrechnung, Maßstäbe
	Astronomie - Geschichte	Geschichte der Raumfahrt, „Kalter Krieg“
	Astronomie - Politik	Internationale Abkommen und Verträge, internationale Überwachung, militärische Sicherheit
	Astronomie - Geographie	Überwachung des Weltraummüll von verschiedenen Orten der Erde
	Astronomie – Wirtschaft/Recht	Schandenshaftung, Versicherung
	Astronomie - Biologie	Umweltverschmutzung und –zerstörung, Gefahr für Leben durch Weltraummüll
	Astronomie - Technik	Neue Technologien zur Vermeidung und Beseitigung von Weltraummüll
	Astronomie - Kunst	Musik