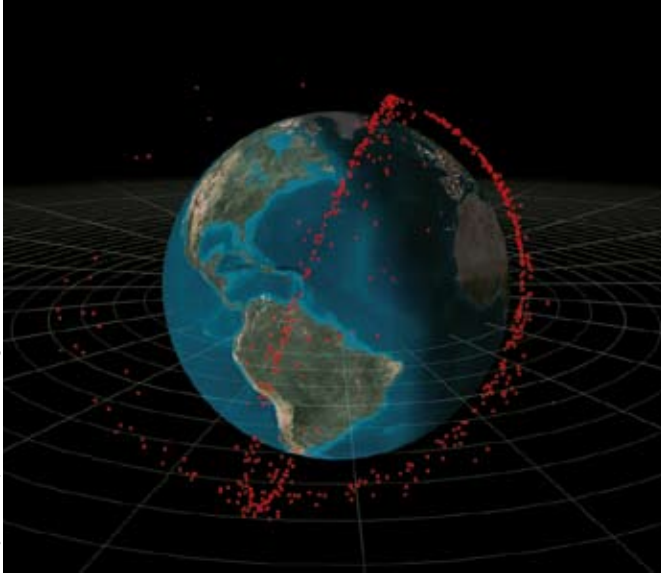




Seit der Satellitenkollision am 10. Februar 2009 treiben mehr als 300 Bruchstücke entlang der ursprünglichen Bahnen von Iridium 33 und Kosmos 2251 im erdnahen Weltraum. Die beiden Satelliten trafen sich annähernd im rechten Winkel mit einer Relativgeschwindigkeit von 11,5 Kilometern pro Sekunde. Diese Grafik wurde rechnerisch aus Daten des US-Weltraumüberwachung erzeugt.

Zwei Satelliten kollidieren

Am 10. Februar 2009 kam es zum ersten Mal in der Geschichte der Raumfahrt zu einem größeren Verkehrsunfall. Das Ereignis zerstörte den US-Kommunikationssatelliten Iridium 33 und den ausgedienten russischen Trabanten Kosmos 2251. Bei der Kollision entstanden zwei Trümmerwolken, die sich nun um die Erde verteilen und die Anzahl gefährlicher Weltraummüll-Objekte erhöhen.

Wenn eine Trümmerwolke im Welt- raum entstanden ist, vermessen erdgebundene Radarstationen die Umlaufbahnen der größeren Objekte, die in den Katalog des US Space Surveillance Networks aufgenommen werden. Die Bahnen der nicht mit dem Radar zu erfassenden kleinen Trümmer lassen sich dagegen nur simulieren.

Bei der Kollision der Satelliten Iridium 33 und Kosmos 2251 am 10. Februar 2009 betrug die Relativgeschwindigkeit rund 11,5 Kilometer pro Sekunde. Bei einem solchen Ereignis entstehen Tausende kleiner Trümmer, die für andere Satelliten gefährlich sind. Mit Hilfe von numerischen Fragmentationsmodellen lässt sich abschätzen, wie viele kleine Trümmer nach einer Kollision entstanden sind und wie sie sich in der Folge um die Erde verteilen. Auf diese Analysen hat sich das Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme (ILR) der TU Braunschweig spezialisiert.

Bisher gab es glücklicherweise erst wenige Kollisionen zwischen größeren Objekten auf Erdumlaufbahnen. Den überwiegenden Teil der Trümmer erzeugten etwa 220 Explosionen von Raumfahrzeugen seit dem Beginn der Raumfahrt im Jahr 1957. Darunter befanden sich ausgebrannte Raketenoberstufen, deren Resttreibstoffe plötzlich explodierten. Andere

Explosionen wurden mutwillig herbeigeführt, indem so genannte Killersatelliten auf unterschiedlichen Umlaufbahnen getestet wurden, und dabei Tausende von Trümmerstücken erzeugten. Besonders kritisch: Am 11. Januar 2007 zerstörte die Volksrepublik China einen ausgedienten Wettersatelliten mit einer Rakete und erzeugte tausende Trümmerstücke.

Kollisionen sind besonders gefährliche Fragmentationsereignisse, denn dabei erhalten die entstehenden kleinen Trümmer sehr hohe Zusatzgeschwindigkeiten. In der Folge verteilen sich die Objekte über viele verschiedene Bahnhöhen und stellen dort ein Risiko für andere Satelliten dar. Mit unseren Simulationsrechnungen möchten wir abschätzen, wie viele zusätzliche Trümmer sich nun voraussichtlich in den unterschiedlichen Bahnhöhen befinden.

Welcher Anstieg der Trümmerzahlen ist zu erwarten?

Das vorläufige Ergebnis unserer Simulationsrechnung zeigt, dass die Anzahl der Trümmer in einer Bahnhöhe von 790 Kilometern besonders stark angestiegen ist. Für das Jahr 2009 rechnen wir für Trümmer größer als einen halben Zentimeter durchschnittlich mit einer erhöhten Anzahl von bis zu 30 Prozent. Ein Satellit, der

sich in 790 Kilometern Höhe um die Erde bewegt, ist jetzt somit einem um rund ein Drittel höheren Partikelfluss ausgesetzt als vor der Kollision (siehe Kasten rechts). Dieses Risiko betrifft in ganzer Schärfe mehrere Erdbeobachtungssatelliten, wie beispielsweise die europäischen Satelliten ERS-2 und Envisat.

Die Intensität der Kollision schleuderte einige Trümmer auf elliptische Umlaufbahnen, deren erdfernste Punkte sehr große Höhen erreichen. Allerdings betrifft dies nur verhältnismäßig wenige Objekte. Ihr Beitrag zur dortigen Trümmeranzahl ist daher gering (Kasten rechts). Die meisten Trümmer werden sich in der Bahnhöhe befinden, in der sich die Satelliten vor der Kollision aufhielten.

Berechnet man die Verteilung des Weltraummülls, so lässt sich daraus die Anzahl der Einschläge auf andere Satelliten ableiten. Dies möchten wir beispielhaft für einen Satelliten auf einer sonnensynchronen Umlaufbahn in 800 Kilometern Höhe mit einer Bahnneigung von 98,5 Grad zum Erdäquator zeigen.

Diese Umlaufbahnen werden von Erdbeobachtungssatelliten genutzt, weil hier die gesamte Erdoberfläche unter guten Beleuchtungsbedingungen für die Bordinstrumente sichtbar ist. Zudem können die Satelliten hier praktisch permanent

Sonnenlicht zur Energieerzeugung aufzufangen. Die Analyse zeigt, dass auf den für diese Satelliten gebräuchlichen Umlaufbahnen mit merklich erhöhten Einschlagraten pro Jahr und pro Quadratmeter der Satellitenfläche zu rechnen ist.

Die Einschlaggeschwindigkeiten erreichen auf den sonnensynchronen Umlaufbahnen sehr hohe Werte. Der größte Anteil der Trümmer schlägt mit circa 15 Kilometer pro Sekunde auf den Satelliten ein. Das entspricht fast der doppelten Bahngeschwindigkeit von 7,9 Kilometern pro Sekunde. Die Analysen weisen darauf

hin, dass der Partikelfluss überwiegend im Bereich der sehr hohen Differenzgeschwindigkeiten angestiegen ist (Kasten unten). Dies hängt damit zusammen, dass aus der Sicht eines Satelliten auf einer polarnahen, sonnensynchronen Bahn die meisten Trümmer von vorne einschlagen, der Azimut ihrer Einschläge liegt bei null Grad. Allerdings sind ebenso Trümmer zu erwarten, die unter verschiedenen schrägen Winkeln eintreffen. Diese Einschlagsgeometrien hängen von der Bahnverteilung der Trümmer und der Umlaufbahn des betroffenen Satelliten ab.

Wie sicher sind die Abschätzungen?

Die Schätzung der Anzahl der durch die Kollision zwischen Iridium 33 und Kosmos 2251 entstandenen Trümmer erfolgt mit Hilfe von empirischen Modellen, die auf Erfahrungen mit bisherigen Fragmentationsereignissen beruhen. Einer der Modellparameter ist die Anzahl der tatsächlich entdeckten größeren Trümmer. Diese wurde von amerikanischer Seite kurz nach dem Ereignis mit rund 700 angegeben und liegt auch diesen Analysen zugrunde. Bislang (1. März 2009) sind aber erst etwa halb

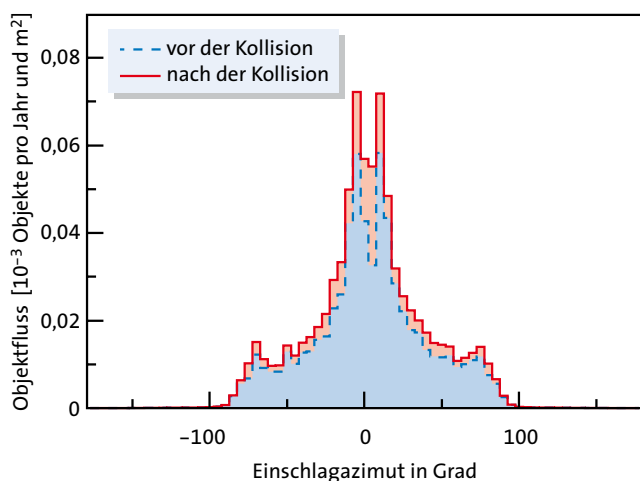
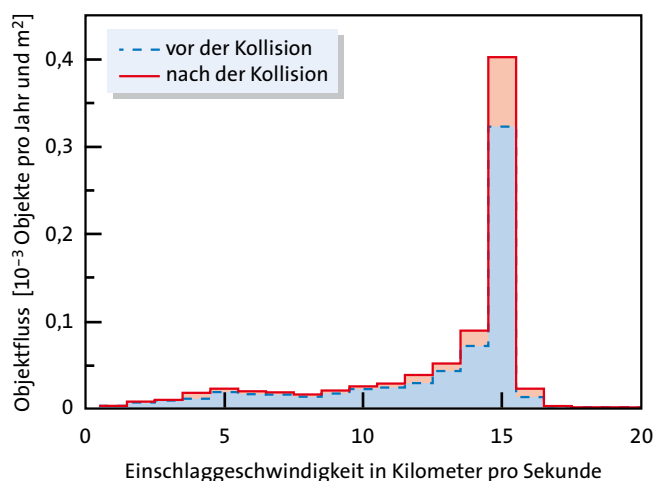
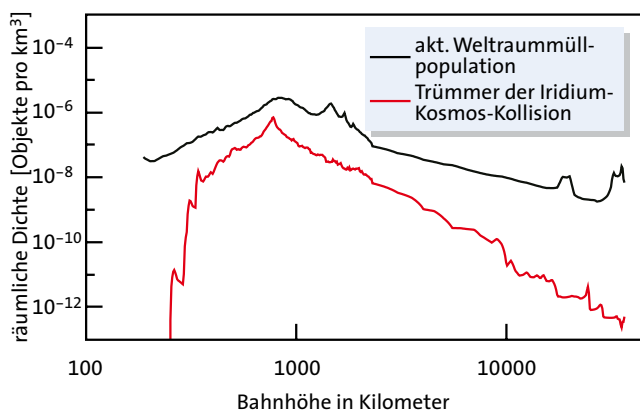
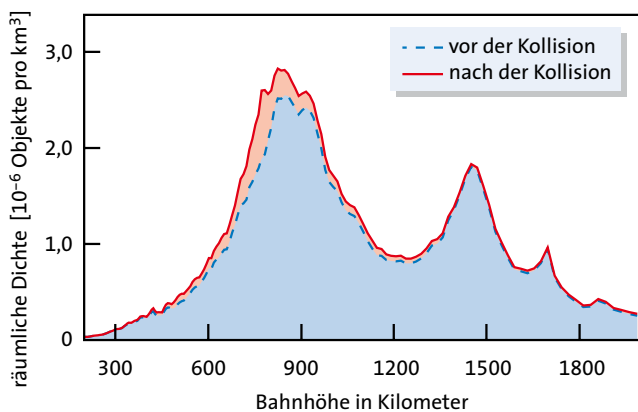
Der Zusammenstoß und seine Folgen

Die Kollision von Iridium 33 und Kosmos 2251 wird sich noch für lange Zeit auf die Raumfahrt auswirken: Im Bereich der niedrigen Erdumlaufbahnen ist ein Satellit in rund 800 Kilometer Höhe nach dem Zusammenprall einem um fast ein Drittel höherem Partikelfluss ausgesetzt (rote Kurve in der oberen Grafik links). Hier ist die simulierte Verteilung der räumlichen Dichte von Objekten größer als fünf Millimeter dargestellt.

Im Bereich von 200 bis 30 000 Kilometer zeigt sich für kleine Objekte nach dem Zusammenstoß eine Häufung um 800 Kilometer, der Beitrag in höheren Umlaufbahnen ist sehr gering (Grafik rechts oben).

Vergleicht man die Einschlaggeschwindigkeiten von Objekten größer als fünf Millimeter vor und nach der Kollision, so zeigt sich, dass nach dem Zusammenstoß der Partikelfluss bei hohen Kollisionsgeschwindigkeiten deutlich angestiegen ist (Grafik unten links).

Für Erdbeobachtungssatelliten auf Bahnen um 800 Kilometer Höhe zeigt sich, dass diese bevorzugt frontal von Trümmern größer als fünf Millimeter getroffen werden, der Azimut des Einschlags beträgt dann null Grad. Auch die Anzahl dieser Objekte hat nach der Kollision markant zugenommen (rote Kurve in der Grafik unten rechts).



Alle Grafiken: ILR / TU Braunschweig / SuW-Grafik

so viele Objekte katalogisiert worden. Vielleicht muss auch die Anzahl der Trümmer im Kleinteilbereich nach unten korrigiert werden. Möglicherweise sind bei der Kollision nur Teile der beiden Satelliten zertrümmert worden, wie Antennen oder Solarzellenausleger.

Die hier dargestellten Ergebnisse sind vorläufig. Eine genauere Analyse ist erst dann möglich, wenn ausreichend präzise Daten aus den Radarbeobachtungen zur Verfügung stehen. Wir führen die-

se genaueren Untersuchungen im Rahmen eines derzeit laufenden ESA-Projekts durch.

Ein MASTER für den Weltraummüll

Am Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme der TU Braunschweig entwickeln wir unter Vertrag mit der ESA zurzeit die neueste Version des europäischen Weltraummüllmodells mit der Bezeichnung MASTER-2009. MASTER (Meteoroid and

Space Debris Terrestrial Environment Reference Model) bildet die Partikelumgebung auf Erdumlaufbahnen ab und hilft bei der Planung von Raummissionen. Mit diesem Modell lässt sich das Kollisionsrisiko zwischen Weltraummüllobjekten und Satelliten abschätzen. Mit präziseren Daten sollte es uns gelingen, eine detaillierte Prognose der Kollisionsgefahren nach dem Satellitenzusammenstoß zu erstellen. CARSTEN WIEDEMANN, SVEN FLEGEL, PETER VÖRSMANN



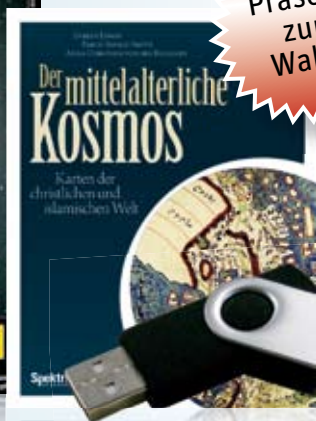
Gedrängel im Weltall

18 000 Objekte im Erdumlauf werden derzeit von der erdgebundenen Radarüberwachung verfolgt. Tausende Satelliten und ausgebrannte Raketenstufen tummeln sich auf erdnahen Bahnen (oben). Zusätzlich ist die Erde von einem Ring umgeben, es ist der Gürtel der geostationären Satelliten in 36 000 Kilometer Höhe (links).

Zu diesen großen Objekten kommen noch Millionen kleinerer Trümmer hinzu, die nicht per Radar zu erfassen sind. Aber auch diese können schon schwere Schäden anrichten (unten): Hier durchschlägt in einem Beschusstest ein nur wenige Millimeter großes Projektil (Pfeil) mit fünf Kilometer pro Sekunde eine Stahlplatte.



ALS ABONNENT HABEN SIE VIELE VORTEILE!



Präsent
zur
Wahl!

ABONNIEREN

>>> Sie zahlen im Inland nur € 85,20 für das Jahresabonnement von **Sterne und Weltraum** (12 Ausgaben). Als Schüler, Student, Azubi, Wehr- oder Zivildienstleistender zahlen Sie auf Nachweis sogar nur € 64,-.

>>> Unter www.astronomie-heute.de/archiv haben Sie freien Zugriff auf alle Heftartikel seit 2005.

>>> Für Ihre Bestellung bedanken wir uns mit einem Präsent Ihrer Wahl.

Weitere
Prämien
finden Sie im
Internet

EMPFEHLEN

Sie haben uns einen neuen Abonnenten vermittelt? Dann haben Sie sich eine Dankesprämie verdient und können zwischen mehreren Geschenken wählen.

Der DriversChoice-Tankgutschein über € 30,- lässt Sie der nächsten Benzinpreiserhöhung deutlich gelassener entgegensehen.



Buch »Kompedium der Astronomie«
Mit über 100 farbigen Illustrationen, zahlreichen Tabellen und Verweisen ist das Buch das ideale Nachschlagewerk zur Astronomie.

Präsent
zur
Wahl!

VERSCHENKEN

Verschenken Sie ein Jahr Lesevergnügen! Das erste Heft des Abonnements verschicken wir mit einer Grußkarte in Ihrem Namen.



Abonnieren können Sie unter:

www.astronomie-heute.de/abo

Spektrum
DER WISSENSCHAFT

Wissen aus erster Hand

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH | Slevogtstraße 3-5 | 69126 Heidelberg | Tel 06221 9126-743 | Fax 06221 9126-751
service@spektrum.com