

# Active Debris Removal

Als Space Debris bezeichnet man alle künstlichen, nicht mehr im Gebrauch befindlichen Objekte, die sich in einer Umlaufbahn um die Erde befinden (z.B. Trümmerteile von kollidierten Satelliten). Während die Anzahl solcher auch als Weltraumschrott bezeichneten Teile immer mehr zunimmt, steigt gleichzeitig auf der Erde die Abhängigkeit von funktionierenden Satellitensystemen. Der Gefahr, dass diese schon durch Kollisionen mit sehr kleinen Objekten zerstört werden können, versucht man heute durch Detektion des Schrotts und das Fliegen von Ausweichmanövern zu begegnen. Da dieses Vorgehen schon in absehbarer Zeit nicht mehr auszureichen droht, werden weltweit Konzepte entwickelt, Space Debris aktiv aus der Gefahrenzone zu beseitigen (Active Debris Removal, ADR).

Erdgebundene Teleskop- und Radarstationen sind heute in der Lage, ca. 80 Prozent von Space Debris-Objekten mit Durchmessern von bis herab zu wenigen Zentimetern zu detektieren. Hingegen sind die schätzungsweise weit über 160 Millionen Objekte mit einem Durchmesser kleiner als 1 cm mit heutigen Methoden noch gar nicht erfassbar. Dabei entfalten schon kleine Weltraumschrottteilchen von nur wenigen Gramm Masse eine fatale Wirkung beim Zusammenstoß, da sie aufgrund der hohen Relativgeschwindigkeit zu den Satelliten eine hohe kinetische Energie besitzen. Dazu kommt die aktuell anhaltende Zunahme von künstlichen Objekten im Erdorbit seitens staatlicher, aber auch vermehrt privater Akteure (Stichwort New Space). Damit besteht die Gefahr, dass die für den Betrieb von Satelliten erforderlichen Umlaufbahnen unpassierbar werden, was wiederum enorme Auswirkungen auf heute bereits tief in unseren Alltag integrierte Technologien wie Telekommunikation, Navigation oder Wettervorhersagen hätte. Auch das militärische operative Agieren im Weltraum könnte damit in Zukunft wesentlich behindert werden.

Als einziger Ausweg aus diesem drohenden Dilemma wird die Nutzbarmachung von Verfahren zum Active Debris Removal gesehen. Allen diesbezüglichen Konzeptvorschlägen liegt als Ziel ein kontrolliertes De-Orbiting der Trümmerstücke zugrunde,

damit diese durch den Wiedereintritt in die Erdatmosphäre schließlich verglühen oder auf sogenannten Friedhofsorbits verbleiben, auf denen sie keinen Schaden anrichten können.

Bei ADR unterscheidet man zwischen Methoden mit und solchen ohne Kontakt. Zu den kontaktlosen Methoden zählen beispielsweise Laser, die von erdgebundenen oder im Orbit befindlichen Stationen aus betrieben werden und Space Debris Objekte durch gezielte Laserimpulse abbremsen. Die erforderliche Abbremsung erfolgt nicht instant und es kann mehrere Jahre dauern, bis das Objekt wieder in die Atmosphäre eintritt und verglüht. Der Vorteil von Lasersystemen ist, dass sie mehrfach eingesetzt werden und sowohl kleine als auch große Objekte auf niedrigen Erdborbits entfernen können. Dazu ist aber die genaue Kenntnis von Position und Geschwindigkeit der Objekte erforderlich. Auch besteht die Gefahr, dass durch zu starken Beschuss Objekte weiter auseinanderfallen und somit zusätzlichen Weltraumschrott erzeugen.

Das Prinzip von Methoden mit Kontakt ist das Einfangen von Space Debris Objekten mittels unterschiedlicher Lösungen, die auf einem Basissatelliten, dem sogenannten Chaser, montiert sind und im Orbit operieren. Ziel ist es, mit dem Antriebssystem des Chasers eingefangene Objekte auf den gewünschten Orbit zu transportieren oder abzubremesen. Grundsätzlich unterscheidet man hier zwischen steifen und flexiblen Verbindungen zwischen Chaser und dem Space Debris-Objekt.

Zu den steifen Methoden zählen sowohl Roboter- als auch Tentakelsysteme. Bei Robotersystemen werden mechanische Arme dazu eingesetzt, Objekte mittels an den Armenenden befestigten Greifern zu packen. Bei Tentakelsystemen kommen flexible Arme zum Einsatz, die die Objekte umspannen. Der Vorteil beider Methoden ist, dass sie sowohl auf niedrigen als auch auf hohen Orbits eingesetzt werden könnten. Momentan wären die Kosten solcher Lösungen noch sehr hoch und ihre mehrfache Verwendbarkeit stark begrenzt. Die größte Herausforderung ist jedoch, dass sie sowohl ihre Geschwindigkeit als auch ihre

Lage bzw. Drehung an das Space Debris-Objekt anpassen müssen, da diese Objekte oft einen Restdrehimpuls aufweisen und taumeln, was ein zielgerechtes Greifmanöver erheblich erschwert.

Von solchen Rotations- und Taumbewegungen relativ unabhängig sind Methoden mit flexiblen Verbindungen. Bei Fangnetzen beispielsweise sind an den jeweiligen Ecken Gewichte befestigt, die über ein Abwurfssystem auf dem Chaser auf das Objekt abgeschossen werden und dafür sorgen, dass das Netz sich auf- und das Objekt umspannt. Bei Fangleinen sind, ähnlich wie bei Roboterarmen, am Ende Greifvorrichtungen installiert, die auf das Objekt abgeworfen werden und es packen sollen. Ebenfalls sind Lösungen im Gespräch, bei denen Harpunen auf das Objekt geschossen werden, um sie über ein Seil mit dem Chaser zu verbinden. Solche flexiblen Lösungen gelten momentan als vielversprechendste ADR-Methoden, da sie nicht nur leicht, vielseitig und damit kosteneffektiv sind, sondern auch aus weiter Entfernung zum Objekt abgeworfen werden können. Auch hier besteht allerdings die Gefahr einer weiteren Fragmentierung des Objektes, z.B. bei ungünstigem Abwurf des Fangnetzes oder beim Eindringen der Harpunen in das Objekt.

Ungeachtet dessen, durch wen oder wodurch Space Debris produziert wurde und wird: Durch die Zunahme und immer tiefere Verflechtung von Weltraumtechnologien und -infrastrukturen in unseren Alltag und durch das Aufkommen neuer Akteure zählt das Problem des Weltraumschrotts zu den großen künftigen Aufgaben der Raumfahrt und ist nur in der internationalen Gemeinschaft zu lösen. Daher werden bereits viele der oben aufgelisteten Konzepte weltweit von Weltraumagenturen, staatlichen als auch privaten Organisationen hinsichtlich ihres Einsatzes bei künftigen ADR-Missionen diskutiert und erprobt. Wir befinden uns momentan in einem Wettlauf um die besten Konzepte. Allen beteiligten Akteuren ist jedoch klar, dass die Lösung des Problems nicht länger aufgeschoben werden kann und dass es nun an der Zeit ist, erste Schritte zu unternehmen.

**Dr. Fabrizio Musacchio**