

# Gut gerüstet ins All

Sicher, kostengünstig und umweltfreundlich soll die Raumfahrt sein - ein neues Radarsystem zur Detektion von Weltraummüll, eine spezielle Software zur Verwundbarkeitsanalyse von Satelliten, der vielseitige Kleinsatellit ERNST und ein leistungsstarker grüner Treibstoff machen es möglich.

Text: Sonja Endres

ERNST ist etwa so groß wie eine halbe Kiste Bier und zählt damit zu den größeren Kleinsatelliten.  
© Fraunhofer EMI



Wie verheerend Trümmerteile im Orbit sein können, mussten Dr. Ryan Stone und Matt Kowalski alias Sandra Bullock und George Clooney im Film »Gravity« leidvoll erfahren. Auch in der Realität beschädigt umherfliegender Weltraumschrott Satelliten und Raumstationen.

Der amerikanische Astronom Donald Kessler warnte bereits 1978 vor der gängigen Praxis, große Objekte wie ausgebrannte Raketenstufen, Nutzlastverkleidungen oder ausgediente Satelliten einfach im Orbit zu lassen. Denn jede Kollision erzeuge eine Vielzahl von Trümmerteilen, die in einer Kettenreaktion zu zahlreichen weiteren Zusammenstößen führen. Schließlich werde der erdnahe Orbit unbenutzbar sein, auch Trägerraketen könnten ihn nicht mehr kollisionsfrei auf den Weg in höhere Orbits durchqueren – die Raumfahrt wäre am Ende.

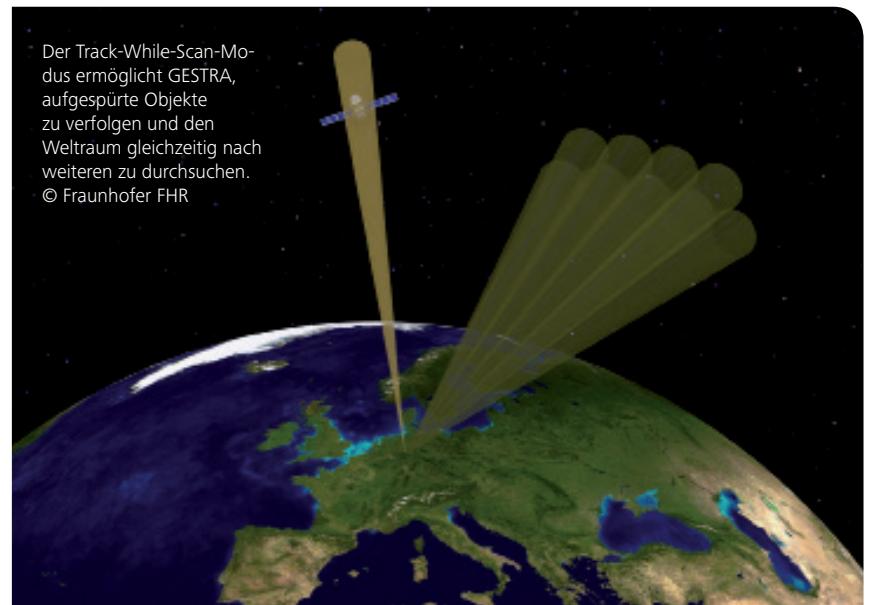
Obwohl der Weltraummüll seit den 1970er-Jahren erheblich zugenommen hat, kann davon glücklicherweise noch keine Rede sein. Dennoch stellen umherfliegende Trümmer eine ernste Gefahr für alles dar, was sich im All bewegt. Um ihnen ausweichen zu können, ist es wichtig zu wissen, wo sie unterwegs sind.

### Sicher unterwegs dank GESTRA und TIRA

»Mithilfe des Überwachungsradars GESTRA, das am Fraunhofer FHR entwickelt wurde, können im niedrigen Erdorbit bis zu 3000 Kilometer Bahnhöhe Objekte und Trümmerteile zuverlässig detektiert werden«, sagt Helmut Wilden, Teamleiter Multifunktionale Hochfrequenzsensorik am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in Wachtberg bei Bonn.

Während GESTRA große Bereiche des Weltraums rund um die Uhr absキャン kann, beobachtet das FHR-Radarsystem TIRA einzelne Objekte genauer (siehe weiter.vorn-Ausgabe 1.2018). »GESTRA kann unbekannte Objekte aufspüren, ihre Anzahl bestimmen und die Flugbahnen berechnen. Genauere Informationen über Größe, Form oder mögliche Schäden liefert TIRA.« Die beiden komplementären Radarsysteme ergänzen damit US-amerikanische Bahnkataloge, die bisher als Hauptinformationsquellen dienen. »Die NASA gibt längst nicht alle ihrer Daten preis, daher ist es wichtig, hier auf eigene Messdaten zurückgreifen zu können. Wir sind stolz, dass uns das DLR Raumfahrtmanagement im Auftrag der Bundesregierung mit dieser hoheitlichen Aufgabe betreut hat«, sagt Dr. Nadya Ben Bekhti, Co-Projektleiterin GESTRA am FHR.

GESTRA besteht aus je einem Sende- und Empfangssystem, die von einer schützenden Hülle, den Shaltern, umgeben sind. »Die Antennentechnologie basiert auf dem Phased-Array-Prinzip, also auf der Bündelung der Strahlungsenergie von zahlreichen Einzelantennen. Mithilfe der Strahlenbündel, wir bezeichnen sie als Keulen, können nicht nur große Areale



sehr schnell und flexibel nach Objekten durchsucht werden. Es lässt sich auch eine Keule für die Objektverfolgung abstellen, während der Rest unabhängig davon weiterhin suchen kann. Dieser Track-While-Scan-Modus ist optimiert für die Anwendung in der Weltraumüberwachung«, erklärt Ben Bekhti.

Einzigartig ist, dass GESTRA extrem leistungsfähig und trotzdem mobil ist. Per Schwertransporter kann es an jeden beliebigen Ort gebracht werden. »Damit können wir auf veränderte Umgebungsbedingungen reagieren«, so Ben Bekhti. Sobald die Integration der einzelnen Komponenten in den Shaltern abgeschlossen und alles erfolgreich getestet wurde, wird GESTRA im Sommer 2019 an seinen Aufstellungsort gebracht. »Voraussichtlich wird GESTRA auf der Schmidtenhöhe in Koblenz installiert. Das Radarsystem wird an das Weltraumlagezentrum der Bundeswehr im niederrheinischen Uedem angebunden und kann von dort aus ferngesteuert werden«, kündigt Wilden an.

### Verwundbarkeitsanalysen und intelligentes Design

Wenn Zusammenstöße mit Trümmerteilchen unvermeidbar sind, helfen robuste Materialien und schlaue Designs, Satelliten vor gravierenden Schäden zu bewahren. Die neue PIRAT Software des Fraunhofer-Instituts für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI in Freiburg berechnet, ob das Satellitendesign oder einzelne Bauteile gegen den Einschlag von Weltraumschrott gefeit sind. Dabei bezieht PIRAT die Flugbahn der geplanten Mission und die hier zu erwartenden Partikeleinschläge ein. Kombiniert mit der experimentellen Simulation




Der herkömmliche Raketentreibstoff hat es in sich: Er führt zu saurem Regen und stört den Hormonhaushalt.  
© ESA – David Ducros

von Kollisionen erstellen die Forscher am EMI Verwundbarkeitsanalysen und Schutzkonzepte. Dr. Martin Schimmerohn, Gruppenleiter Raumfahrttechnologie am EMI, erklärt: »PIRAT ermöglicht die Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit der einzelnen Komponenten auch im Innern des Satelliten, wenn ein einschlagendes Schrottteil die Außenwand bereits durchschlagen hat und sich als Fragmentwolke ausbreitet. Durch eine geschickte Platzierung der Komponenten und das Hinzufügen von dünnen Schutzlagen kann ein sicheres Design mit minimalem Einfluss auf das Gesamtsystem gefunden werden.«

### Mit ERNST schnell und kostengünstig ins All

Damit in Zukunft nicht noch mehr Weltraummüll entsteht, wird heute darauf geachtet, dass neue Satelliten nach dem Ende ihrer Mission aus eigener Kraft wieder in die Erdatmosphäre eintreten können, um dort zu verglühen. Auch der Kleinsatellit ERNST wird mit einer entsprechenden Technologie ausgerüstet. EMI-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler haben mit ERNST einen Kleinsatelliten entwickelt, der leicht, zuverlässig und vielseitig einsetzbar ist – damit reduzieren sich Entwicklungszeit und -kosten. »In der Regel fliegen mehrere Kleinsatelliten huckepack mit großen Träger raketen mit – das ermöglicht auch kleinen Forschergruppen mit beschränkten finanziellen Mitteln, im All Tests durchzuführen. In der Forschung bringt uns das einen wichtigen Schritt nach vorne«, sagt Thomas Loosen, Geschäftsstellenleiter der Fraunhofer-Allianz Space.

www: Fraunhofer-Allianz Space

 [www.space.fraunhofer.de/](http://www.space.fraunhofer.de/)

Kleinsatelliten, wegen ihrer Würfelform auch »Cube Sat« genannt, haben eine Standardgröße von einer Unit (rund zehn mal zehn mal zehn Zentimeter). So passen sie perfekt in spezielle Container auf den Trägerraketen, in denen sie übereinandergestapelt transportiert werden. Der Nachteil: Die Leistungsfähigkeit der Cube Sats ist beschränkt. So können sie beispielsweise nicht mit einer großen Solarfläche zur Stromerzeugung ausgestattet werden. Auch das Gewicht der Nutzlast ist begrenzt. Der Trend geht daher zu größeren Cube Sats.

»ERNST besteht aus zwölf Units, das entspricht etwa der Größe einer halben Kiste Bier. Das Format ist ideal, denn es ermöglicht komplexere Nutzlasten, eine höhere Leistungsfähigkeit und ist gleichzeitig kompatibel mit kommerziell verfügbaren Cube-Sat-Komponenten«, so Schimmerohn. Trotz seiner Größe findet ERNST noch im Standard-Transportcontainer der Trägerraketen Platz, den er vollständig ausfüllt.

»Der kleine Satellit ist als eine Art Basisbausatz konzipiert, der reproduzierbar ist und sich je nach Mission individuell anpassen lässt«, beschreibt Schimmerohn weitere Vorteile. »Wir haben flugerprobte Technik beschafft, beispielsweise den Bordcomputer, und sie mit Eigenentwicklungen wie einem Filterrad oder einer Datenverarbeitungseinheit kombiniert.«

### Möglichkeiten im Weltraum erweitern

ERNST wird bei seiner Mission, die Anfang 2021 startet, mit einer Infrarotkamera zur Erdbeobachtung ausgestattet. Das Besondere: Die Kamera ist auf einer speziellen Halterung montiert, einer optischen Bank, die im metallischen 3D-Druckverfahren gefertigt wurde. 3D-Druckverfahren ermöglichen eine neue, nahezu unbegrenzte Freiheit im Design und kürzere Produktionszeiten. Bisher kommen sie aber in der Raumfahrt aufgrund der strengen Sicherheits- und Qualitätsanforderungen nur sehr eingeschränkt zum Einsatz.

»Problematisch sind nicht die 3D-Bauteile, sondern die herkömmlichen Prüfverfahren. Viele Prüfungen beruhen auf optischen Methoden, die bei den vergleichsweise rauen Oberflächen der additiv gefertigten Teile nicht funktionieren«, erklärt Schimmerohn. »Die Belastung auf die Bauteile ist während des Raketenstarts am höchsten. Die optische Bank hält dem stand. Das haben wir umfangreich getestet.«

Schimmerohn und sein Team nutzten die Vorteile, die das additive Fertigungsverfahren bietet. Mit intelligenten Algorithmen entwickelten sie eine leichte, organisch anmutende Struktur, die sich optimal an die Umgebungsbedingungen anpasst. »Wir haben an der Außenseite der optischen Bank eine dreidimensionale Oberfläche aus vielen kleinen Pyramiden geschaffen. Dadurch haben wir eine größere Abstrahlfläche gewonnen, über die die Wärme, die beim Betrieb des Satel-

liten entsteht, ins Weltall entweicht. So können verschiedene Funktionen in einem einzigartigen Bauteil vereint werden.«

In Zukunft, ist sich Schimmerohn sicher, werden additive Fertigungsverfahren zunehmend in der Raumfahrt eingesetzt – nicht anstelle von, sondern als sinnvolle Ergänzung zu herkömmlichen Verfahren. »Auch Kleinsatelliten werden große Satelliten nicht ersetzen, aber unsere Möglichkeiten im All erheblich erweitern.« Vor allem in der Sammlung zusätzlicher Daten und ihrer Vernetzung sieht Schimmerohn großes Potenzial. Zudem können viele Kleinsatelliten zu größeren Konstellationen zusammengeschaltet werden und so beispielsweise eine flächendeckende Erdbeobachtung in hoher Qualität gewährleisten.

### Umweltfreundlich starten

Damit die Erde unter der zunehmenden Aktivität im Welt- raum nicht leidet, haben Forscher am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfinztal bei Karlsruhe jetzt einen Raketentreibstoff entwickelt, der ohne das umwelt- und gesundheitsschädliche Ammoniumperchlorat (AP) auskommt. AP wird in herkömmlichen Treibstoffen als Oxidator eingesetzt, der dafür sorgt, dass genügend Sauerstoff für die Verbrennung zur Verfügung steht. Das Problem: Als Abfall- produkt entsteht tonnenweise Salzsäure – beim Start der europäischen Ariane- oder Vega-Rakete rund 70 Tonnen, bei den amerikanischen Space-Shuttle-Raketen mehr als 80. Die Säure gelangt in die Umwelt und führt in der Umgebung der Raketenabschussrampen zu saurem Regen.

Auch AP selbst ist gefährlich: Es stört den menschlichen Hormonhaushalt und führt zu verschiedenen, schwerwiegenden Effekten in Organismen. Daher überlegt die Europäische

Kommission, die Produktion und Verwendung von AP zu verbieten. »Mit unserem Treibstoff, der in dem europäischen Gemeinschaftsprojekt GRAIL entwickelt wurde, bieten wir eine AP-freie und dabei genauso leistungsstarke Alternative«, sagt Projektleiter Dr. Volker Gettwert. Er und sein Team ersetzen AP durch Ammoniumdinitramid (ADN) – einen Oxidator, der in den 1970er-Jahren in sowjetischen Laboren entwickelt wurde. »ADN ist in großen Mengen kommerziell verfügbar. Das ist ein großer Vorteil gegenüber Eigenentwicklungen, denn hier gibt es häufig Probleme beim Upscaling der Volumina, also der Umstellung von kleinen Mengen im Labor auf große in der Produktionshalle. Das kostet Zeit und Geld.«

Doch einfach ersetzen kann man AP nicht, denn mit dem neuen Oxidator ändern sich die Eigenschaften des herkömmlichen Treibstoffs. »ADN brennt wesentlich schneller ab als AP. Darauf müssen wir das Treibstoffgemisch abstimmen. Denn die Brenngeschwindigkeit bestimmt die Menge an Gas, die erzeugt wird – und mehr Gas erzeugt mehr Schub für die Rakete. Der neue Treibstoff muss auch die Druckbelastung bei der Zündung aushalten. Wenn er Risse bildet oder zerbröckelt, entsteht plötzlich eine riesige Oberfläche. Dann brennt viel mehr als beabsichtigt, der Druck in der Brennkammer steigt und das Ganze kann explodieren.«

Dem ICT-Team ist es gelungen, den neuen Treibstoff so zu optimieren, dass er in seinen Eigenschaften denen des herkömmlichen Treibstoffs entspricht. »Das ist ein großer Vorteil, weil die Raketenantriebe nicht technisch verändert werden müssen, um den neuen Treibstoff nutzen zu können. Somit hat der Treibstoff gute Chancen, bald in der Raumfahrt zum Einsatz zu kommen.« ■

Für den Transport lässt sich das kuppelförmige Radom von GESTRA abnehmen und die Antenne einfahren. © Fraunhofer FHR

