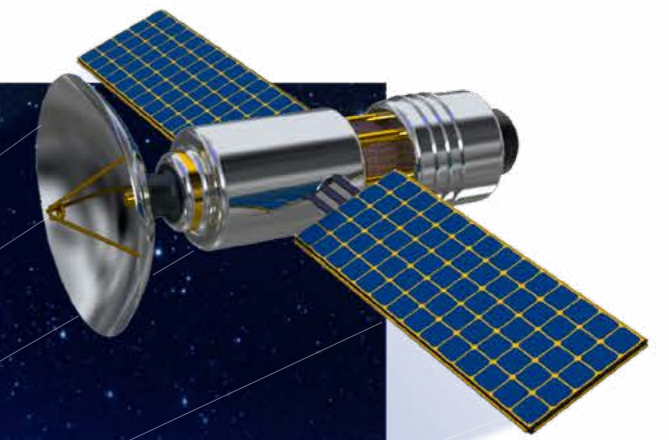


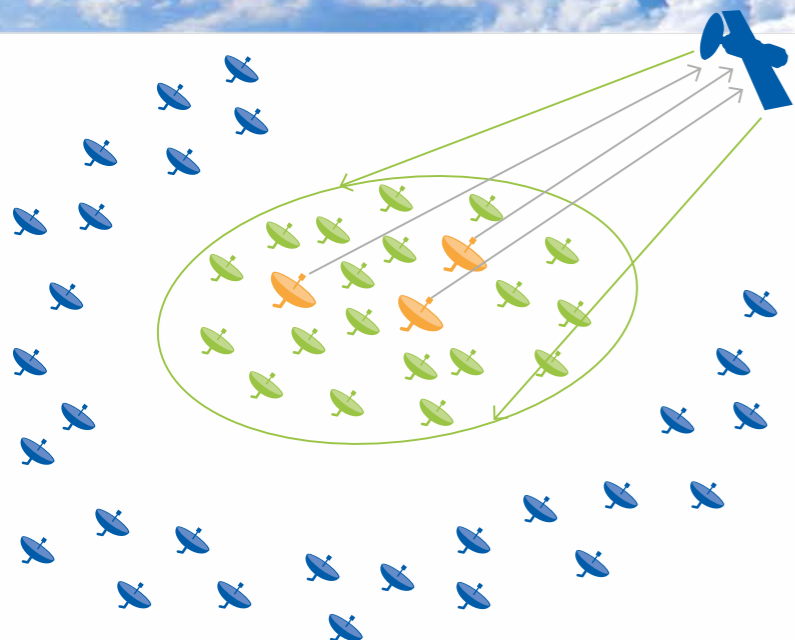
NEUE AUGEN FÜR DEN BLICK NACH OBEN

Ein Radarsystem beobachtet Weltraumobjekte

von Dr. Markus Peichl



Der Nachthimmel gehört längst nicht nur den Sternen: Mehr und mehr Satelliten umkreisen permanent die Erde. Ein besonders prominentes Beispiel ist die Starlink-Flotte der Firma SpaceX, die im letzten Jahr als leuchtende Perlenkette für Aufmerksamkeit sorgte. Doch in welchem physischen Zustand sich die einzelnen Satelliten befinden, ist oft nicht bekannt. Die Zustandsdaten der künstlichen Erdtrabanten sagen nichts darüber aus, ob ein Stück vom Solarpanel abgebrochen ist oder ein Brocken Weltraumschrott ein Loch in den Satellitenbus geschlagen hat. Häufig erfahren die Betreiberfirmen erst, dass der Satellit defekt ist, wenn Subsysteme ausfallen. Um den Zustand der Weltraumobjekte dauerhaft dokumentieren zu können und Ausfälle früh festzustellen, entwickeln DLR-Forscherinnen und -Forscher ein neues Konzept, das aus vielen Sender- und Empfänger-einheiten aufgebaut ist und solche Himmelskörper dauerhaft mit höchster Qualität beobachten soll.



- Sender
- Empfänger monostatisch
- Empfänger bi-/multistatisch

IoS (Imaging of Satellites in Space) besteht aus einem Radarverbundsystem mit verteilten Antennen: Wenige Sender (orange) mit kleiner Antennengröße im Bereich weniger Meter Durchmesser und viele räumlich verteilte Empfänger (grün und blau) mit sehr kleinen Antennendurchmessern im Meterbereich. Die grünen Empfänger sind so nah an den Sendeantennen positioniert, dass monostatische Aufnahmen entstehen, mit den blauen, entfernteren Empfängern werden multistatische Radar-aufnahmen möglich.

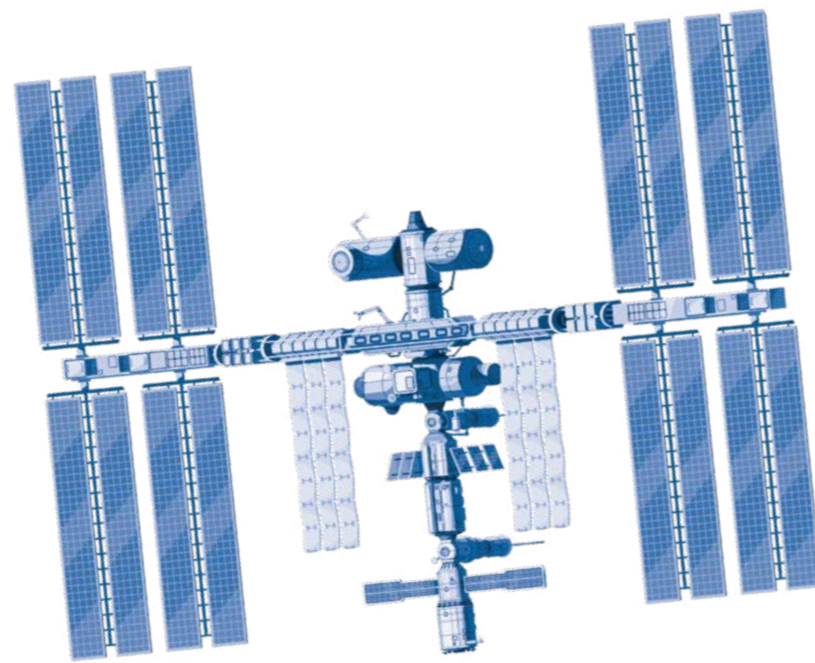
Im Jahr 2021 blicken wir auf ein Jahrzehnt zurück, das in puncto Satellitenstarts neue Maßstäbe geschrieben hat: Während die Anzahl neuer Satelliten pro Jahr seit Sputnik 1957 mit unter 200 kaum zugenommen hat, starteten 2010 knapp 700 Satelliten ins All. 2020 waren es schon über 1.200. Tendenz steigend. Der exponentielle Zuwachs in den letzten Jahren steht im Zeichen der zunehmenden Privatisierung und Kommerzialisierung der Raumfahrt, der New-Space-Ära. Die Raumfahrt lag über Jahrzehnte hauptsächlich in den Händen weniger staatlicher Einrichtungen mit vorwiegend wissenschaftlichen und militärischen Interessen. Nach und nach erobern immer mehr Firmen und Start-ups die Raumfahrt für den zivilen Markt. Die Palette der Anwendungen ist breit gefächert und reicht von Erdbeobachtung über Rundfunk und Kommunikation bis zu Navigation. Der Weltraum wandelte sich sowohl zum Wirtschaftsraum als auch zur kritischen Infrastruktur. Das macht sich besonders im näheren Erdorbit (Low Earth Orbit, LEO) bis zu einer Entfernung von 2.000 Kilometern bemerkbar: Rund 7.000 künstliche und noch existente Weltraumobjekte wurden seither in den Weltraum gebracht. Dazu kommen noch die Altlasten der Raumfahrt in Form von unzähligen Schrottteilchen. Über 100 Millionen dieser Objekte sind zwischen einem Millimeter und einem Zentimeter groß, ein zunehmend ernsthaftes Problem.

Augen nicht nur für den Schrott

Sowohl die Schrottteilchen als auch insbesondere die funktionsfähigen Satelliten im Blick zu behalten, ist die Aufgabe der sogenannten Weltraumlageerfassung (Space Situational Awareness, SSA). Diese ist im Grunde so alt wie die Raumfahrt: Flugtrajektorien bei Raketenstarts vom Erdboden aus zu überwachen oder Objekte im Orbit zu lokalisieren, war von Beginn an nötig und förderte schon früh die Entwicklung entsprechender Instrumente. Heute existieren sowohl optische Systeme als auch Radarinstrumente zur Überwachung der Weltraumlage. Sie detektieren die Objekte und verfolgen ihre Bahnen. Radarabbildungen geben Aufschluss über ihre Größe, Bauform, ihr Material und über mögliche Drehbewegungen. Prominente Vertreter sind amerikanische Systeme der U.S. Air Force beziehungsweise des Massachusetts Institute of Technology (MIT) wie HUSIR, die deutschen Systeme GESTRA von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR und TIRA vom Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik sowie das System GRAVES der französischen Luftwaffe. Sie alle arbeiten mit sehr großen Antennen, die meist um die 30 Meter Durchmesser haben und niedrige Mikrowellenfrequenzen verwenden. So erzielen sie je nach Objektgröße Reichweiten von bis zu einigen Tausend Kilometern. Bis auf GRAVES arbeiten sie außerdem ausschließlich monostatisch, das heißt Sender und Empfänger befinden sich am selben Ort.

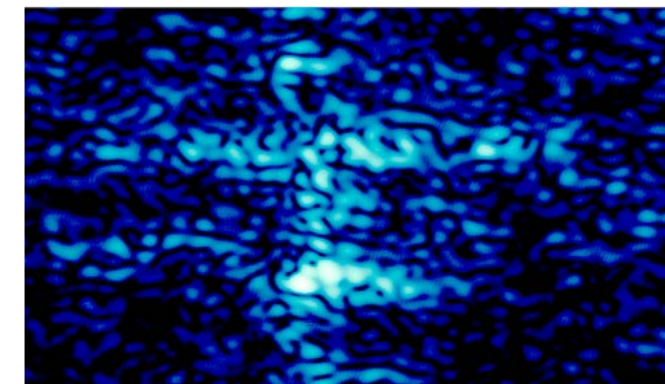
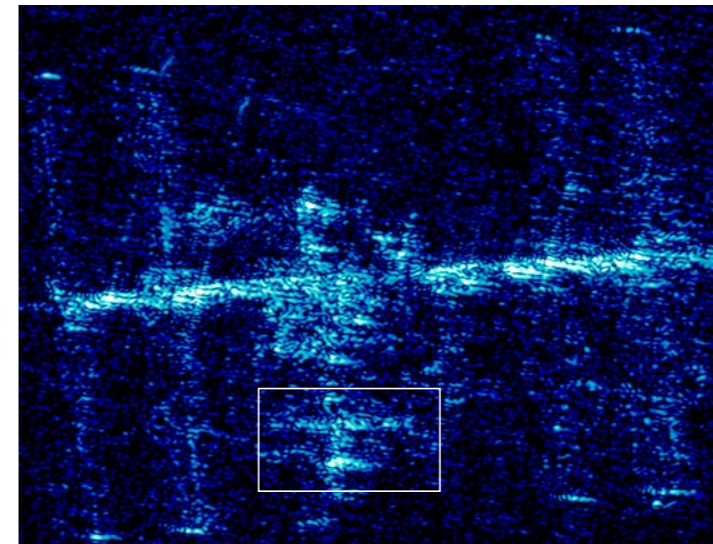
Neben der unerlässlichen Detektion und Bahnbestimmung von Schrottteilchen müssen insbesondere aktive Weltraumobjekte künftig auch hochgenau mit bildgebenden Verfahren klassifiziert, identifiziert und überwacht werden. So könnten Änderungen in ihrem Flugverhalten oder Alterungserscheinungen in ihrer Struktur früh erkannt und Funktionsausfälle vorausgesagt werden. Dies ist besonders interessant im Hinblick auf das Konzept von Responsive Space (Artikel im DLRmagazin 166): Defekte Satelliten sollen frühestmöglich erkannt und schnellstmöglich ersetzt werden, idealerweise innerhalb weniger Tage. Dies wäre eine Revolution in der Raumfahrt, in welcher der Ersatz von Satelliten aktuell noch Jahre dauert. Ferner sind in der Zukunft vermehrt auch gänzlich unbekannte Weltraumsysteme zu erwarten, die aber in einer professionellen Lageerfassung nicht unberücksichtigt bleiben dürfen.

Der Demonstrator des Radarsystems IoSiS steht am DLR-Standort Weilheim und arbeitet im X-Band. Für den Demonstrator hat das Team eine bestehende Neun-Meter-Antenne vom DLR-Raumflugbetrieb zur Radarsendeantenne umgebaut und mit zwei kleinen Empfangsantennen ausgerüstet.



„Agiler“ Antennenschwarm

Da die heutigen Beobachtungssysteme nur begrenzt erweitert und verbessert werden können, entwickelt das DLR mit IoSiS (Imaging of Satellites in Space) ein neues Konzept für eine zukunftsorientierte radarbasierte Weltraumlageerfassung. Im Gegensatz zu heutigen Systemen ist IoSiS ein Experimentalsystem für ein zukünftiges Konzept, welches als ein Verbund von mehreren Instrumenten angelegt ist. Statt einzelner riesiger Antennen setzen die Forschenden auf den Einsatz eines „Schwarms“ an Sende- und Empfangsanlagen: Es sollen mindestens ein bis mehrere Sender mit einer Antennengröße von unter zehn Metern Durchmesser mit zahlreichen räumlich verteilten Empfängern mit kleinen Antennendurchmessern im Meterbereich kombiniert werden. Das System arbeitet, im Gegensatz zu bisherigen Systemen, mit um die 100 Gigahertz in einem deutlich höheren Frequenzbereich. So erreicht es theoretisch eine räumliche Auflösung von wenigen Zentimetern. Indem alle Sender und Empfänger zusammenarbeiten, entstehen sowohl echte monostatische 3D-Abbildungen – von näher beieinanderstehenden Sendern und Empfängern – als auch multistatische Aufnahmen, bei denen Sender und Empfänger bezüglich des Beobachtungsobjekts einen großen Winkel einschließen. Multistatische Abbildungen zeigen Strukturen, die monostatischen Radaren oft verborgen bleiben.

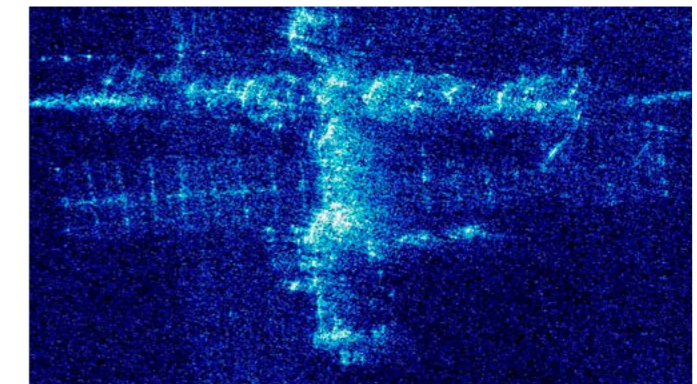
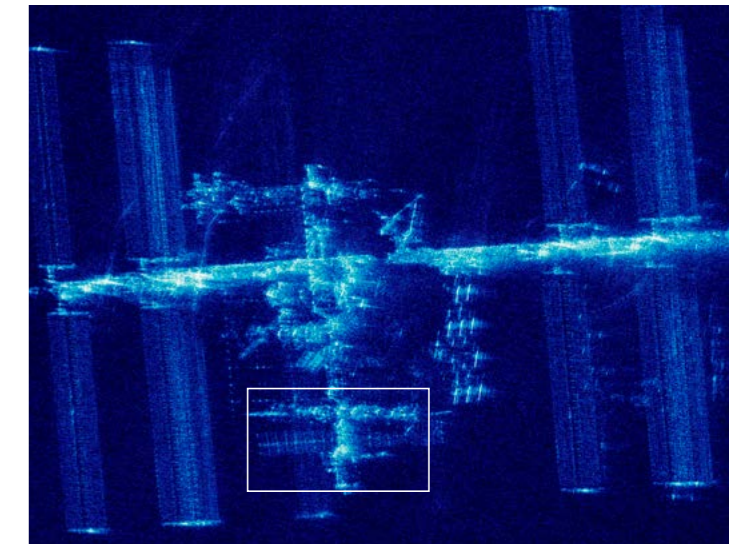


Ein solches System mit sehr vielen Empfängern hat weitere Vorteile: Aufgrund der großen Menge lohnt sich hier die industrielle Fertigung. Heutige SSA-Systeme sind meist hochspezialisierte Sonderanfertigungen. IoSiS ist dagegen flexibel: Je nach finanziellen Möglichkeiten kann das Gesamtsystem Stück für Stück erweitert werden, wobei jeder zusätzliche Empfänger die gesamte Leistung steigert. Fällt ein Empfänger aus, wird er unaufwändig ausgetauscht. Moderne Hardware kann direkt in jeden neuen Empfänger integriert werden. Die aktuellen Systeme sind mit ihren großen Antennen recht unflexibel und können nur eingeschränkt mit neuer Technik aufgerüstet werden. Auch Genehmigungsverfahren für den Standort der etwa ein Kubikmeter kleinen IoSiS-Antennen sind einfacher als für die Großantennen aktueller Systeme, die bis zu dreißigtausend Kubikmeter und mehr groß sein können. Außerdem ist praktisch ausgeschlossen, dass das gesamte System auf einmal ausfällt.

Die aktuelle Weltraumlage aus Weilheim

Um das IoSiS-Konzept zu erforschen, hat ein Team vom DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme am Standort Weilheim einen ersten Demonstrator aufgebaut, der aus technischen Gründen aktuell noch mit etwa 10 Gigahertz betrieben wird. Er besteht aus einem Sender und zwei Empfängern. Das Radarsystem bildet Weltraumobjekte im nahen Erdborbit mit sehr hoher Auflösung ab. Es kann nahezu beliebige Signalformen verarbeiten. Seit der Demonstrator 2017 das erste Bild der ISS erstellte, hat das Team die Hard- und Software stetig weiterentwickelt. Hatten die Abbildungen vor vier Jahren noch eine Auflösung von 50 Zentimetern, erstellt das System heute Aufnahmen mit einer Auflösung von fünf Zentimetern. Damit können nicht nur kleinste Objekte und Details an Satelliten beurteilt, sondern auch altersbedingte Veränderungen an großen Strukturen erfasst werden.

2017 betrug die Auflösung von IoSiS noch 50 Zentimeter (links), heute hat sie sich auf 5 Zentimeter verbessert (rechts). Die Breite der oberen Bilder entspricht in der Realität etwa 110 Metern, also der Länge der ISS. Der vergrößerte Bereich (untere Bilder) ist immer noch etwa 25 Meter breit.



Daneben kann IoSiS auch dafür eingesetzt werden, größere Objekte wie ausgediente Raketenstufen zu beobachten. Diese sind zwar recht einfach zu detektieren, erfordern aber eine genaue Zustandskontrolle. Je größer ein Objekt, desto rasanter „altert“ es aufgrund der statistisch höheren Wahrscheinlichkeit von Kollisionen, durch die es deformiert wird oder Teile abfallen. Für die Lagebeurteilung ist es wichtig zu wissen, wenn aus einem großen zwei kleinere Teile Weltraumschrott geworden sind.

Echte Dimensionenvielfalt

Aktuell arbeitet das DLR-Team an dem neuen Konzept IoSiS-NG (Next Generation) und damit an einer verbesserten räumlichen Auflösung und der 3D-Fähigkeit. Mit herkömmlichen Verfahren der Radarinterferometrie werden 3D-Aufnahmen der Erdoberfläche erstellt. Dabei wird die dritte Dimension anhand der Phasendifferenzen von zwei Teilbildern berechnet. Diese Methode gerät allerdings bei sehr komplexen Objekten wie der ISS an ihre Grenzen. Die multistatischen Empfänger des IoSiS-Systems können hingegen Informationen aus verschiedenen Perspektiven empfangen. Auf dieser Grundlage können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dann eine echte 3D-Aufnahme erstellen. Aktuell ist das IoSiS-Experimentalsystem nur in Weilheim im Einsatz, es ist aber geplant, es sukzessive auch in ganz Deutschland in Betrieb zu nehmen.

Dr. Markus Peichl arbeitet als Gruppenleiter beim DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme und ist Projektleiter von IoSiS.