

# Internationale Raumstation

*Nutzen für den  
Menschen*

## Publikationen zum Thema

---

### **Artikel zur Forschung und Entwicklung auf der Internationalen Raumstation**

*Zusammenfassung der Forschungsarbeiten und ihrer Ergebnisse auf der Internationalen Raumstation*

International Space Station Science Research Accomplishments During the Assembly Years: An Analysis of Results from 2000–2008. Technisches Papier der NASA, 2009, TP-2009-213146-Revision A.

*Aktualisierte Fassung erwartet für 2012*

*Nutzen der Weltraumforschung*

Internationale Raumstation - Nutzen für den Menschen, 2012

Benefits of Space Research, *erwartet für 2012*

*Die Internationale Raumstation und ihr Nutzen für das Bildungswesen*

Internationale Raumstation - Nutzen für den Menschen, 2012

D. A. Thomas, J. A. Robinson, J. Tate, T. Thumm: Inspiring the Next Generation: Student Experiments and Educational Activities on the International Space Station, 2000–2006. NASA/TP-2006-213721. 2006; 1-108. *Aktualisierte Fassung erwartet für 2012*

### **Weitere relevante Publikationen**

Research in Space: Facilities on the International Space Station 2009

Reference Guide to the International Space Station 2010

The Era of International Space Station Utilization: Perspectives on Strategy From International Research Leaders 2010



# Internationale Raumstation - Nutzen für den Menschen

---



Diese Publikation wurde von Mitgliedern der Canadian Space Agency (CSA), der Europäischen Weltraumorganisation (European Space Agency, ESA), der Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), der National Aeronautics and Space Administration der USA (NASA) und der Russian Federal Space Agency (Roskosmos) gemeinsam erarbeitet.

Diese Publikation ist aus einer Sammlung von Artikeln hervorgegangen, die im Internet unter der Adresse [www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/benefits/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/benefits/index.html) veröffentlicht wurden.

## *Ein Produkt des Program Science Forum*

CSA: Nicole Buckley, Perry Johnson-Green, Thomas Piekutowski, Marilyn Steinberg, Jason Clement, Ruth Ann Chicoine

ESA: Martin Zell, Christer Fuglesang, Jason Hatton, Patrik Sundblad, Nigel Savage, Rosita Suenson, Julien Harrod

JAXA: Tai Nakamura, Shigeki Kamigaichi, Ryota Sato, Tatsuya Aiba, Masato Koyama, Yayoi Miyagawa, Shiho Ogawa, Yutaka Kaneko

NASA: Julie Robinson, Tracy Thumm, Tara Ruttley, Camille Alleyne Cynthia Evans, William Stefanov, Elizabeth Richards, Jennifer Fogarty, Judy Carrodegus, Carolyn Knowles, Regina Blue, Kelly Humphries, Michael Curie, Joshua Buck, Brooke Boen, Kris Rainey

Roskosmos: George Karabadschak, Igor Sorokin, Sergej Awdeew, Boris Sagreew

## *Design und Layout*

James Fairchild und Kristi Ferguson

## *Redaktionsleitung*

Tracy L. Thumm, NASA

## *Verantwortliche Redakteurin*

Julie A. Robinson, NASA

# Inhalt

---

## Medizin

neuroArm: Roboterarm mit helfender Hand .....	1
Prophylaktische Bisphosphonatgaben zur Prävention von Knochenabbau auf Weltraumflügen: Bessere Gesundheitsvorsorge für ältere Menschen durch Weltraummedizin .....	3
Wachstumsexperiment zur Züchtung perfekter Proteinkristalle im Labormodul Kibo .....	5
Haben Sie Asthma? Rettung naht – aus dem Weltraum. ....	9
Noch eine Prise Salz? Besser nicht, wenn es nach den Knochen der Astronauten geht! .....	11
Impfstoffentwicklung auf der Internationalen Raumstation .....	13
Moderne Ultraschalltechnologie für Weltraum und Erde .....	16
Früherkennung von Veränderungen des Immunsystems bewahrt Astronauten und Patienten auf der Erde vor schmerzhafter Gürtelrose .....	21
Gezielter Wirkstofftransport in der Krebstherapie .....	24
Moderne NASA-Technologie unterstützt Wasseraufbereitungsprojekte weltweit .....	27

## Erdbeobachtung und Katastrophenhilfe

Fernerkundung von der ISS aus – mehr als nur Handkamerabilder .....	31
Bilder der ISS unterstützen Inselstaaten beim Management von Korallenriffen .....	34
ISSAC beobachtet Überschwemmung in Norddakota von der ISS aus .....	37
Überwachung der Lagune von Venedig von der ISS aus .....	39
HREP-HICO: nie da gewesene Bilder von den Küstenregionen der Erde .....	41
Bilder der ISS von der Tsunami-Katastrophe in Nordjapan .....	44
SMILES, der Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder .....	46
ISS unterstützt Studien zum Klimawandel .....	49
Das Uragan-Programm dokumentiert Katastrophen auf der Erde von der ISS aus .....	53
ISS überwacht weltweiten Schiffsverkehr .....	56

## Bildungsinitiativen weltweit

Gespräche mit der ISS-Besatzung inspirieren Jugendliche .....	61
Schüler trainieren wie Astronauten .....	63

Europas Raumdroiden-Allianz .....	65
Wasser: eine chemische Lösung 67	
Ucyu Renshi (Weltraum-Kettengedichte): Worte verbinden Menschen auf der ganzen Welt .....	69
EarthKAM-Programm: Schüler fotografieren die Erde von der ISS aus .....	71
Rote Tomaten für den Roten Planeten .....	74
Erde ruft ISS – Kommunikation mit Kosmonauten .....	76

## Wert der ISS als Forschungsplattform

Erfolge in der  
Technik

Erfolge auf  
internationaler  
Ebene

Erfolge in der  
Forschung

## Nutzen für Forschung und Technologie

Wissenschaftliche  
Entdeckungen

Auf der Erde

Weltraum-  
exploration



## Nutzen für den Menschen

Medizin

Erdbeobachtung  
und  
Katastrophenhilfe

Bildungsinitiativen  
weltweit

# Einführung

---

Kaum war die Internationale Raumstation ISS bewohnbar, begannen Forscher, die Wirkung der Mikrogravitation und anderer Gegebenheiten im Weltraum auf verschiedene Aspekte des menschlichen Lebens zu untersuchen. Seither führen Forscher aus aller Welt auf der ISS noch nie da gewesene Experimente durch, die nur auf dieser einzigartigen Forschungsplattform möglich sind. Zwar verfolgen die beteiligten Weltraumorganisationen mit der ISS ganz unterschiedliche Forschungsziele, doch verbindet sie alle eine einzige Idee: neue Erkenntnisse zum Nutzen der Menschheit zu gewinnen. Wir wissen zwar noch nicht, welche Entdeckungen auf der ISS sich eines Tages als die wichtigsten erweisen werden, aber schon heute haben wir eine ganze Reihe bahnbrechender Forschungsergebnisse vorzuweisen. Im Bereich der Medizin und Telemedizin, im Bildungswesen und in der Erdbeobachtung vom Weltraum aus zeigt sich bereits jetzt der Nutzen der Weltraumforschung für die Menschheit. Ob Impfstoffentwicklung, die Nutzung von ISS-Bildmaterial für landwirtschaftliche und Katastrophenhilfe-Projekte oder Bildungsinitiativen zur Motivation künftiger Wissenschaftler, Ingenieure und Weltraumforscher – es gibt viele Beispiele für den Nutzen der Weltraumforschung. Die vorliegende Publikation gibt einen Überblick über die Erfolge der wissenschaftlichen und technologischen Forschungs- und Bildungsprojekte auf der ISS, die das Leben auf der Erde bereits heute verändern und künftig noch weiter beeinflussen werden.

Die Artikel in dieser Publikation sind lediglich eine Auswahl an Beispielen für das Potenzial der ISS als wegweisender wissenschaftlicher Forschungseinrichtung. Die Experimente auf der ISS bringen die Wissenschaft voran, ermöglichen medizinische Fortschritte und inspirieren die wissenschaftlichen und technologischen Vordenker von morgen. Die auf der ISS gewonnenen Forschungsergebnisse erschließen wirtschaftliche Vorteile und verbessern die Lebensqualität der Menschen auf der Erde. So kommt die Weltraumforschung auf der ISS der Menschheit in vielfältiger Weise zugute.



# Grundsätzliches zu medizinischer Forschung, Erdbeobachtung und Bildungsinitiativen auf der ISS

## Medizin

Die Internationale Raumstation bietet ein einzigartiges Forschungsumfeld für medizinische und gesundheitsbezogene Themen, die nicht nur für Astronauten im Weltraum, sondern auch und vor allem für Menschen auf der Erde relevant sind. Schon seit ihrer Inbetriebnahme werden auf der ISS Forschungsprojekte durchgeführt, die unser Wissen über Alterungsprozesse, Traumata, Krankheiten, Umwelteinflüsse und andere gesundheitliche Aspekte vermehren.

Eine Reihe biologischer Experimente und Untersuchungen zur Physiologie des Menschen haben wichtige Ergebnisse erbracht, unter anderem neue Erkenntnisse über grundlegende physiologische Prozesse, die auf der Erde durch die Schwerkraft maskiert werden. Dazu kommt die Gesundheitsfürsorge für die Astronauten, die die Entwicklung neuer medizinischer Technologien und Protokolle ebenfalls vorantreibt. Auch Fortschritte bei Telemedizin, Krankheitsmodellen, der Erforschung psychologischer Stressreaktionen, Ernährung, Zellverhalten oder Umweltmedizin – um nur ein paar Beispiele zu nennen – sind den einzigartigen Mikrogravitationsbedingungen auf der ISS zu verdanken.



## Erdbeobachtung und Katastrophenhilfe

Die Internationale Raumstation eignet sich als „Weltraumbasis“ zur Überwachung von Abläufen und Ereignissen auf dem gesamten Planeten. Sie ermöglicht internationale Erdbeobachtungsprojekte mit dem Ziel, die vielfältigen Umweltprobleme unseres Heimatplaneten besser zu verstehen und nach Lösungen zu suchen.



Dank ihrer überragenden technischen Ausstattung bildet die ISS einen einzigartigen Beobachtungsposten für den Blick auf die Ökosysteme der Erde. Die ISS-Astronauten können die unterschiedlichsten Phänomene in Echtzeit beobachten und darstellen. Mit ihren Kameras können sie spontan Ereignisse fotografieren, die vor ihren Augen ablaufen, und dem Bodenpersonal, das die automatischen Erderkundungssysteme der Station programmiert, bei Bedarf Anweisungen geben. Sensoren auf unbemannten Raumsonden fehlt diese Flexibilität, die vor allem bei plötzlichen Naturereignissen wie Vulkanausbrüchen oder Erdbeben von großem Nutzen ist.

Zahlreiche Nutzlasten zur Erdbeobachtung können an den Außenplattformen der ISS installiert werden. Forscher aus den Partnerländern haben bereits diverse Instrumente vorgeschlagen. Bei der Erfassung von Daten zu Weltklima, Umweltveränderungen und Naturereignissen ist gerade diese Kombination aus menschlicher Besatzung und automatischen Erdbeobachtungsnutzlasten von besonderem Vorteil.

Die bestehenden internationalen Partnerschaften, ohne die es die ISS nicht gäbe, fördern den weltweiten Datenaustausch, unterstützen die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Erdbeobachtung und kommen damit allen Menschen zugute.

### **Bildungsinitiativen weltweit**

Die ISS vermag Schüler, Studenten und Lehrkräfte weltweit in einzigartiger Weise zu faszinieren. Die Besatzung an Bord beteiligt sich an zahlreichen Bildungsinitiativen, die das Interesse an mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Fächern, den so genannten MINT-Fächern, wecken und Jugendliche motivieren sollen.

Mit Projekten wie ARISS (Amateur Radio on International Space Station), EarthKAM (Earth Knowledge Acquired by Middle School Students) oder dem Wettbewerb „Bringt Euer Klassenzimmer ins All!“ konnten Schüler, Lehrer und die Öffentlichkeit die Astronauten beim Vorstoß in den Weltraum ein Stück weit begleiten. Beim ARISS-Projekt treten Schüler in Funkkontakt mit ISS-Astronauten, beim EarthKAM-Projekt können sie eine Digitalkamera auf der ISS programmieren, die Bilder der Erde aufnimmt.



Aber die Bildungsprojekte beschränken sich nicht auf den wissenschaftlich-technischen Bereich, sondern gehen weit darüber hinaus. Beim Ucyu Renshi-Projekt zum Beispiel verfassen ISS-Astronauten zusammen mit Menschen auf der Erde ein Kettengedicht. Die ISS soll bis mindestens 2020 in Betrieb bleiben. Bildungsprojekte wie die oben genannten sowie die dazugehörigen Unterrichtsmaterialien sollen in den kommenden Jahren noch weitaus mehr Schülern weltweit zugute kommen. Auf diese Weise soll die Weltraumforschung die nächste Generation von Wissenschaftlern, Technikern, Autoren, Künstlern, Politikern und Forschern motivieren und inspirieren.

## neuroArm: Roboterarm mit helfender Hand

CSA (Canadian Space Agency)

Die geübten Hände, die erfolgreich einen eiförmigen Tumor aus Paige Nickasons Gehirn herausoperierten, hatten eine helfende Hand an ihrer Seite – oder vielmehr einen weltbekannten Roboterarm. Als erster Operationsroboter überhaupt kann der neuroArm eine Operation direkt im Magnetresonanztomographen durchführen. Die dafür nötige Technologie ist aus mehreren Vorgängerprojekten hervorgegangen: dem Canadarm, einer Entwicklung des kanadischen Unternehmens MDA (MacDonald, Dettwiler and Associates) für das amerikanische Space Shuttle-Programm, sowie dem Canadarm2 und Dextre, einer Familie von Weltraumrobotern der Canadian Space Agency, die für Wartungsarbeiten und das Heben schwerer Lasten an Bord der ISS eingesetzt werden.

Die Arbeiten am neuroArm begannen mit der Suche nach einer Lösung für zwei grundlegende Fragen in der Chirurgie: Wie kann man komplizierte Operationen vereinfachen und unmögliche Operationen möglich machen? MDA entwickelte in Zusammenarbeit mit einem Team unter der Leitung von Dr. Garnette Sutherland an der Universität von Calgary einen äußerst präzisen Roboterarm, der in Verbindung mit den hochmodernen, bildgebenden Funktionen von Magnetresonanztomographen (MRT-Systemen) eingesetzt werden kann. Das System sollte Patienten zugute kommen, die im Magnetresonanztomographen operiert werden mussten. Es galt also, einen Roboterarm zu entwickeln, der ebenso geschickt, aber noch genauer und noch ruhiger arbeiten sollte als die menschliche Hand. Dieser Arm durfte weder vom Magnetfeld im MRT gestört werden noch seinerseits die bildgebenden Funktionen des MRT stören.

Daher musste er vollständig aus nicht-magnetischen Materialien konstruiert werden, durfte also beispielsweise keinerlei Stahlbestandteile enthalten. Das Projektteam entwickelte neuartige Steuertechniken für den Roboterarm, der dem Chirurgen nun sogar einen haptischen Eindruck des Operationsgeschehens übermittelt. So kann der Chirurg den Roboter präzise steuern und "mit Gefühl" operieren.

Seit der Operation an Paige Nickason im Jahr 2008 wurden Dutzende von Patienten erfolgreich mit dem neuroArm behandelt. Inzwischen wurde die neuroArm-Technologie von der IMRIS Inc. gekauft, einem börsennotierten Medizingerätehersteller mit Sitz in Winnipeg, Manitoba, Kanada. MDA und IMRIS entwickeln das Konzept zurzeit weiter, um eine zweiarmige Version des Systems auf den Markt zu bringen. Das neue System soll detaillierte, dreidimensionale Bilder des Gehirns anzeigen und dem Operateur beim Umgang mit den verschiedenen chirurgischen Instrumenten und Handsteuergeräten ein Tastgefühl vermitteln, so dass er beim Operieren den Widerstand des Gewebes spüren und den nötigen Druck ausüben kann. Im Moment läuft am Foothills Hospital in Calgary ein klinischer Test unter der Leitung von Dr. Sutherland, bei der die erste Robotergeneration an einer Gruppe aus 120 Patienten erprobt wird. IMRIS hofft, die Zulassung für den Roboter noch im Jahr 2012 beantragen zu können.



„Hier hat sich der Roboter in meinen Kopf hineingebohrt“. Die 21-jährige Paige Nickason, die erste Patientin, der ein Hirntumor mit Roboterunterstützung entfernt wurde, zeigt die Stelle an ihrer Stirn. „Nachdem der neuroArm mir den Tumor herausoperiert hat, wird er in Zukunft vielen anderen Menschen wie mir weltweit helfen.“

Auch MDA setzt bei der Entwicklung medizinischer Lösungen für Patienten auf der Erde weiterhin auf Technologien und Know-how aus der Weltraumforschung. In Partnerschaft mit dem Kinderkrankenhaus SickKids in Toronto, Ontario, arbeitet MDA an der Konzeption und Entwicklung einer hochmodernen technischen Lösung für die Kinderchirurgie mit dem Namen KidsArm. Dieses ausgeklügelte, telechirurgische System, ergänzt durch eine hochpräzise Bildgebung in Echtzeit, soll bei Kleinkindern und Säuglingen zum Einsatz kommen und die Ärzte beim Vernähen feiner Gefäße wie Venen oder Arterien oder bei der Darmchirurgie unterstützen.

Darüber hinaus entwickelt MDA in Zusammenarbeit mit dem Centre for Surgical Invention and Innovation (CSII) in Hamilton, Ontario, ein modernes System für die Früherkennung und Behandlung von Brustkrebs mit dem Namen IGAR (Image-Guided Autonomous Robot – bildgeführter, autonomer Roboter). Dieses soll durch besseren Zugang und größere Genauigkeit präzisere und weniger invasive Operationen ermöglichen.

# Prophylaktische Bisphosphonatgaben zur Prävention von Knochenabbau auf Weltraumflügen: Bessere Gesundheitsvorsorge für ältere Menschen durch Weltraummedizin

Hiroshi Ohshima

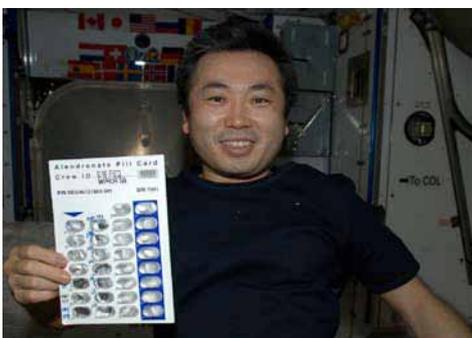
Space Biomedical Research Office, JAXA

Knochenabbau und Nierensteine sind zwei schwerwiegende gesundheitliche Probleme, mit denen Astronauten bei längeren Weltraumaufenthalten zu kämpfen haben. Diesen Problemen beugt die ISS-Besatzung durch sportliche Betätigung im Weltraum vor – zweieinhalb Stunden täglich, sechsmal in der Woche, insgesamt also fünfzehn Stunden pro Woche. Dennoch lässt sich die Gefahr durch Sport allein nicht aus der Welt schaffen.

Die Knochen fungieren im Körper als Stützgerüst und Kalziumspeicher. Durch ein ausgewogenes Verhältnis an Knochenabbau und Knochenaufbau erhalten sie sich ihre Festigkeit. In schwereloser Umgebung jedoch entfallen die Belastungsreize, die den Knochenaufbau stimulieren. Dadurch verstärkt sich die Knochenresorption, während die Knochenneubildung im besten Fall gleich bleibt oder sogar zurückgeht. Infolgedessen kommt es zu einem Verlust an Knochenmasse, der etwa zehnmal so hoch ausfällt wie bei einer Osteoporose. Der proximale Femur verliert pro Monat 1,5 Prozent seiner Masse. Das ergibt bei einem sechsmonatigen Weltraumaufenthalt einen Verlust von etwa 10 Prozent. Der Wiederaufbau des Knochens nach der Rückkehr zur Erde dauert mindestens drei bis vier Jahre. Das Kalziumgleichgewicht, also das Verhältnis zwischen Kalziumaufnahme und Kalziumverlust, beträgt auf der Erde etwa null, vermindert sich im Weltraum aber auf etwa  $-250$  mg/Tag, was zugleich das Risiko für Nierensteine erhöht.



Ein Astronaut beim Sport auf der Internationalen Raumstation (Foto: JAXA/NASA)



Einmal pro Woche nehmen Astronauten Bisphosphonate ein, um dem Knochenabbau im Weltraum vorzubeugen. (Foto: JAXA/NASA)

Osteoporosepatienten werden schon seit über einem Jahrzehnt mit Bisphosphonaten als therapeutischen Wirkstoffen behandelt. Deren Wirksamkeit für den Aufbau von Knochenmasse und den Schutz vor Knochenbrüchen ist nachgewiesen. Untersuchungen an Patienten auf der Erde, die eine 90-tägige Bettruhe einhalten mussten, bestätigten den vorbeugenden Effekt des Wirkstoffs auf den Knochenabbau. Gestützt auf diese Ergebnisse und auf Studien von anderer Seite führen die JAXA und die NASA gemeinsam ein biomedizinisches Experiment zur Prävention von Knochenabbau im Weltraum durch. Dr. Leblanc, USRA, und Dr. Matsumoto, Universität von Tokushima, leiten die Studie.

Besatzungsmitglieder von JAXA und NASA nehmen daran teil. Sie bekommen während ihres Weltraumaufenthalts einmal pro Woche eine Dosis des Wirkstoffs. Die Studie dauert noch an. Aber erste Resultate weisen bereits darauf hin, dass die Astronauten durch ausreichende Versorgung mit den nötigen Nährstoffen wie Kalzium und Vitamin D und ein effektives Bewegungsprogramm, ergänzt durch gering dosierte Bisphosphonate, ihr Risiko für Knochenabbau und Nierensteine wirksam senken können.

Auch bei bettlägerigen älteren Menschen ist Knochenabbau ein Problem. Allein aufgrund des Alterungsprozesses büßt man in höheren Lebensjahren etwa 1 bis 2 Prozent an Knochenmasse ein. Bei Frauen trägt der Rückgang an weiblichen Hormonen noch zusätzlich zu diesem Verlust bei. Von Osteoporose spricht man, wenn die Knochenmasse eines Menschen 30 Prozent geringer ist als die durchschnittliche Knochenmasse eines jungen Erwachsenen. In Japan sind 11 Millionen Menschen, darunter eine von zwei Frauen ab 70, von der Erkrankung betroffen. Jedes Jahr erleiden in Japan 160.000 Menschen einen Oberschenkelhalsbruch und müssen operiert werden, gefolgt von einer intensiven, dreimonatigen Rehabilitation. Eine solche Operation kostet 1,5 Millionen Yen (ca. 14.000 Euro) pro Person. Jährlich belaufen sich die Therapie- und Pflegekosten für Oberschenkelhalsbrüche in Japan insgesamt auf 66,57 Milliarden Yen (ca. 600 Millionen Euro).

Die drei Schlüsselemente bei der Prävention von Knochenbrüchen bei älteren Menschen sind Ernährung, Bewegung und Medikation. Die Ernährung sollte ausgewogen sein und kalziumreiche (Milch, Sardinen usw.) sowie Vitamin-D-reiche Nahrungsmittel (Fisch, Pilze usw.) enthalten. Auch Sonnenbäder, allerdings in Maßen, regen die Bildung von Vitamin D an. Bewegung und Sport stimulieren durch Belastungsreize den Knochenaufbau und auch Muskeltraining sollte jeder Mensch in seinen Alltag integrieren. Wer ein erhöhtes Risiko für Knochenbrüche trägt, sollte dieses durch geeignete Medikamente zusätzlich senken.

So kann die weltraummedizinische Forschung zum Schutz der Gesundheit von Astronauten künftig auch zum Schutz der Gesundheit älterer Menschen beitragen – ebenso wie zur Gesundheitserziehung, die bereits bei Kindern einsetzen sollte.



*Astronauten beim Essen in der Internationalen Raumstation (Foto: JAXA/NASA)*

# Wachstumsexperiment zur Züchtung perfekter Kristalle im Labormodul Kibo

---

Mika Masaki

Space Environment Utilization Center, JAXA

Das endlose Universum und unser Körper bzw. die Proteine, aus denen er besteht, sind gar nicht so verschieden, wie man vielleicht glaubt. Beiden gemeinsam sind kristalline Strukturen. Die Proteine im Körper sind komplexe, dreidimensionale Strukturen und das beste Umfeld, um sie zu untersuchen, ist der Weltraum. Die japanische Weltraumorganisation JAXA führt auf der ISS zurzeit Experimente an Kristallstrukturen durch, die vielleicht eines Tages zu Fortschritten in der Medizin beitragen werden.

Im Weltraum gibt es keine Konvektion. Das heißt, es kommt nicht zu horizontalen oder vertikalen Strömungen, bedingt durch die Dichteunterschiede in einer Lösung. Ebenso wenig kommt es zur Ausfällung, also dem Absinken schwerer Bestandteile. Das heißt, im Weltraum wirken bei der Bildung von Proteinmolekülen keinerlei Störeinflüsse. Die Moleküle wachsen gewissermaßen unter Idealbedingungen und können perfekte Kristallstrukturen ausbilden, was das Studium dieser Strukturen sehr erleichtert. Schon viele Arten von Kristallen konnten unter den einzigartigen Bedingungen im Weltraum gezüchtet werden.

Die JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) hat seit 2003 im Swesda-Servicemodul der ISS neun Experimente zur Proteinkristallisation durchgeführt und eine Technik zur Züchtung perfekter Proteinkristalle im Weltraum entwickelt. Auf der Grundlage dieser Technik begann im Juli 2009 im Labormodul Kibo eine Serie von sechs Experimenten, die bis Anfang 2013 abgeschlossen sein sollen.

Die Proteinproben in zellbiologischen Modulen (Abb. 1) werden von der russischen Weltraumorganisation Roskosmos mit dem russischen Versorgungsschiff Progress zur ISS transportiert. Schon bald nach dem Andocken werden die Proben ins PCRf (Protein Crystallization Research Facility) im Labormodul Kibo gebracht, wo sie für zwei bis vier Monate bei einer stabilen Temperatur von 20 °C verbleiben (Abb. 2). Beim Kristallisationsprozess kommt ein Gegendiffusionsverfahren unter Verwendung von Gelkapillaren zum Einsatz. Dabei diffundiert eine Polyethylenglykol- oder Salzlösung in die Proteinlösung, von der sie durch eine poröse Membran getrennt ist. Die Konzentration des Polyethylenglykols in der Proteinlösung nimmt nach und nach zu, bis schließlich die Bedingungen für die Proteinkristallisation gegeben sind (Abb. 3).



Abbildung 1.

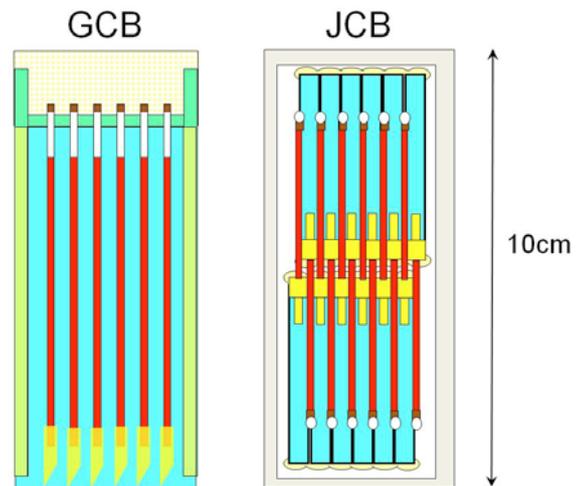
## Zellbiologisches Modul

In den zellbiologischen Modulen können nach der Installation im PCRf (Protein Crystallization Research Facility) an Bord der ISS Proteinkristalle wachsen. Darüber hinaus fungieren die zellbiologischen Module als Behälter für die Kartuschen mit den Gelkapillaren beim Transport mit den Versorgungsschiffen, die zurzeit zur Versorgung der ISS eingesetzt werden.

Abbildung 2.  
 PCRF (Protein Crystallization Research Facility)  
 Das PCRF ist eine Subrack-Nutzlast. Es wird für Experimente zur Proteinkristallisation eingesetzt, sorgt für eine stabile Temperatur und bietet Platz für sechs zellbiologische Module mit bis zu 144 Proteinen.



Abbildung 3.  
 Kartusche mit Gelkapillaren (JCB)  
 Eine Kartusche mit Gelkapillaren, „JCB“ genannt, ist ein einfaches und kostengünstiges Kristallisationsinstrument mit zwölf Kristallisationskapillaren. Die Astronauten an Bord der ISS haben mit den JCBs nur wenig Arbeit. (© JAXA)



Von den Experimenten zum Proteinkristallwachstum erhofft man sich unter anderem Fortschritte in der Medizin. Proteine, die Krankheiten verursachen, und Medikamente, die diese Proteine unterdrücken, passen zueinander wie Schlüssel und Schloss. Hat man die Form des „Schlosses“ durch die Untersuchung seiner Proteinstrukturen ermittelt, so kann man ein wirksames und nebenwirkungsarmes Medikament entwickeln – den Schlüssel zum Schloss. Mit ihren Weltraumexperimenten leistet die JAXA einen Beitrag zur Erforschung chronischer Krankheiten und legt damit Grundlagen für eine bessere medizinische Versorgung in der Zukunft (Abb. 4).

Ein Beispiel für ein Protein, das im Weltraum erfolgreich zur Kristallisation gebracht werden konnte und das vielleicht zur Entwicklung einer neuen Therapie beitragen kann, ist H-PGDS (Hematopoietic Prostaglandin D Synthase). H-PGDS ist ein Enzym und an der Bildung von  $PGD_2$  (Prostaglandin  $D_2$ ) beteiligt, das bei allergischen und entzündlichen Reaktionen eine Rolle spielt.

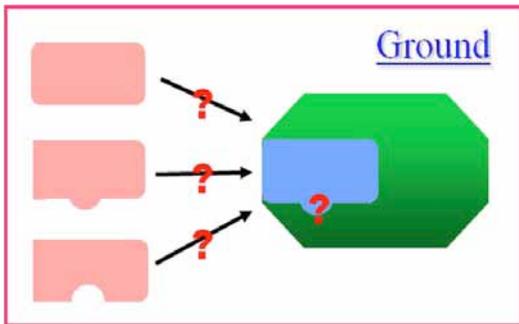
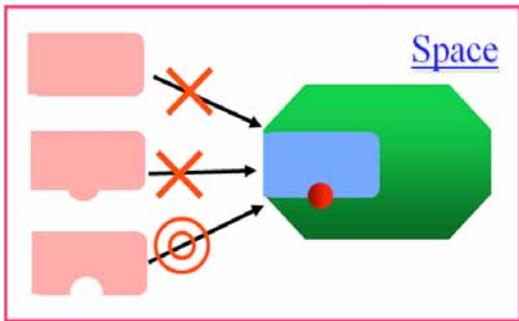


Abbildung 4.

Worin besteht der Vorteil der Weltraumexperimente?

Auf der Erde bleibt die Struktur des einer Krankheit zugrunde liegenden Proteins (also des „Schlosses“) unbestimmt. Daher lässt sich die Struktur eines Wirkstoffkandidaten für eine mögliche medizinische Behandlung (also eines passenden „Schlüssels“) nicht bestimmen. Im Weltraum dagegen kann die Proteinstruktur präzise analysiert werden, so dass man einen passenden therapeutischen Wirkstoff (einen passenden „Schlüssel“) entwickeln kann. (© JAXA)

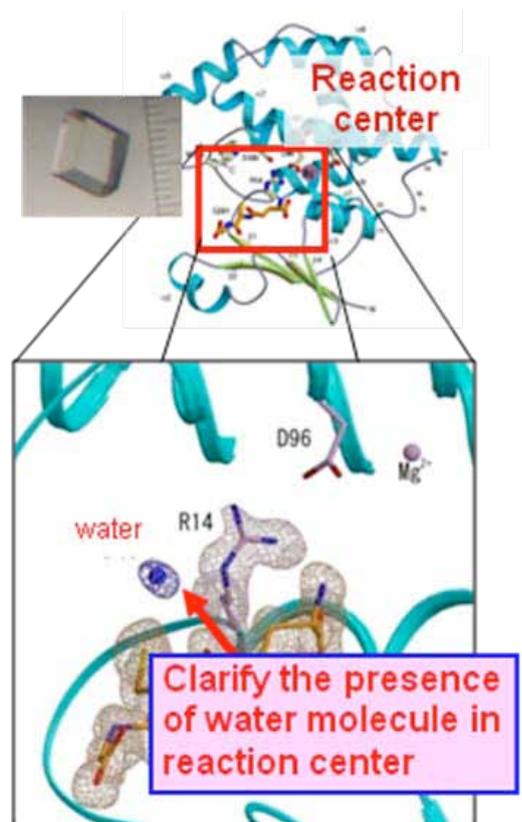


Kürzlich meldete ein Forschungsteam am OBI (Osaka Bioscience Institute), dass H-PGDS auch in nekrotischen Muskelfasern von Patienten mit DMD (Duchenne-Muskeldystrophie) exprimiert wird. DMD ist eine erbliche Muskelerkrankung und stellt die häufigste Form von Muskeldystrophie dar. Etwa einer von 3.500 Jungen ist davon betroffen. DMD zeigt sich in Muskelatrophie und schnellem Muskelschwund. Es ist eine chronische Krankheit, für die es noch keine ursächliche Behandlung gibt. H-PGDS-spezifische Inhibitoren könnten sich jedoch als nützliche Waffe gegen Muskeldystrophie erweisen.

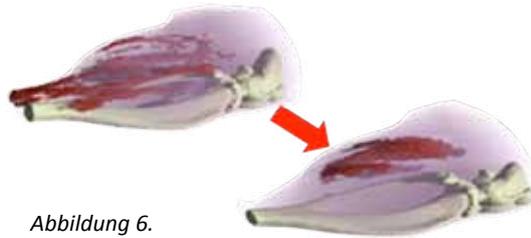
Das Forscherteam am OBI konnte die dreidimensionale Struktur des H-PGDS bei einem Experiment mit dem Prototyp eines H-PGDS-spezifischen Inhibitor-Komplexes erfolgreich bestimmen. Im Rahmen des Weltraumexperimentes der JAXA ist die H-PGDS-Kristallisation in Schwerelosigkeit bereits mehrmals geglückt. Mithilfe der kristallographischen Röntgenstrukturanalyse, also der Bestimmung von Kristallstrukturen mithilfe von Röntgenstrahlen, entschlüsselten die Forscher die Struktur der perfekten Kristalle von H-PGDS-Inhibitor-Komplexen mit einer Diffraktionsauflösung von 1,0–1,5 Angström und entdeckten dabei einen neuen Inhibitor mit einer mehrere hundert Mal stärkeren Aktivität als beim Inhibitor-Prototyp (Abb. 5). Dank dieser Untersuchungen wird der Bindungsmodus von H-PGDS und seinen Inhibitoren jetzt besser verstanden. Damit ist die Grundlage für ein besseres Wirkstoffdesign gelegt und man forscht weiter in der Hoffnung, die Ergebnisse eines Tages in der medizinische Praxis anwenden zu können (Abb. 6).

Abbildung 5.

Perfekte Kristalle der H-PGDS-Inhibitor-Komplexe  
Bei dem Weltraumexperiment konnte die Detailstruktur eines Proteins, das an der Entstehung von Muskeldystrophie beteiligt ist, bestimmt werden. (© Osaka Bioscience Institute/MARUWA Foods and Biosciences, Inc.)



Im menschlichen Körper gibt es über 100.000 Proteine, in der Natur über 10 Milliarden. Jedes hat eine andere Struktur und jedes beinhaltet wichtige Informationen über die menschliche Gesundheit und die Umwelt auf unserem Planeten. Der Weltraum ist das neueste Experimentierfeld für die biomedizinische Forschung an Proteinstrukturen. Im Weltraum lassen sich Experimente durchführen, die auf der Erde schwierig oder ganz unmöglich wären. Die perfekten Kristalle, die bei verschiedenen Experimenten im Labormodul Kibo gezüchtet werden, erschließen der Wissenschaft neue Erkenntnisse und Möglichkeiten. Das Wissen um Proteinstrukturen ist unverzichtbar für das Verständnis der Abläufe in lebenden Organismen.



*Abbildung 6.  
Behandlung der Muskeldystrophie  
Das Fortschreiten der Muskelatrophie lässt sich  
durch einen geeigneten Wirkstoffkandidaten  
verlangsamen. (© Osaka Bioscience Institute)*

# Haben Sie Asthma? Rettung naht – aus dem Weltraum.

Europäische Weltraumorganisation ESA

Kalle, ein Junge von 10 Jahren, ist schon heute von Weltraumtechnologie begeistert. Denn in Zukunft könnte er sein Asthma mit einem kleinen Gerät kontrollieren, das auch von der Besatzung an Bord der Internationalen Raumstation verwendet wird. Dank dieses Geräts weiß er auch schon fast alles über Stickoxid – ein wichtiges Gas, das in ausgeatmeter Luft enthalten ist.

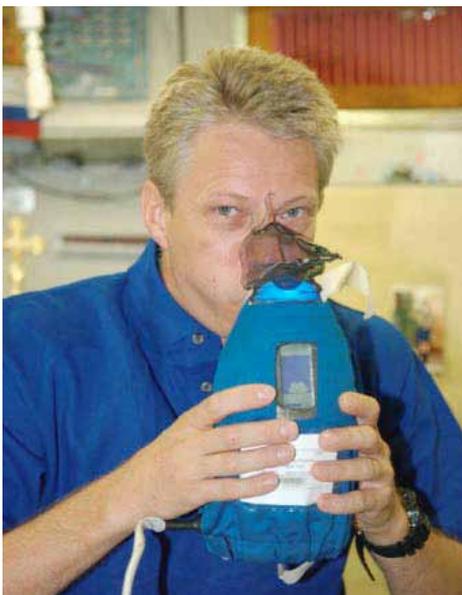
Stickoxid, oder Stickstoffmonoxid, wie es richtig heißt, ist ein Molekül mit guten und schlechten Eigenschaften. Als Luftschadstoff ist es nahezu allgegenwärtig. Es befindet sich in Fahrzeugabgasen und wird bei industriellen Verbrennungsprozessen freigesetzt. Stickoxid trägt zur Zerstörung der Ozonschicht bei. Außerdem kann leicht Salpetersäure daraus entstehen, ein Bestandteil des sauren Regens.

Interessanterweise wird Stickoxid auch in entzündetem Gewebe von Menschen und anderen Säugetieren in winzigen Mengen lokal freigesetzt. Verfolgt man es zurück bis zur Quelle, kann man verschiedene Krankheiten diagnostizieren.

Bei Menschen mit Asthma enthält die ausgeatmete Luft aufgrund der Entzündungsprozesse in den Atemwegen mehr Stickoxid als normal. Eine Messung des Gases kann die Diagnose der Krankheit erleichtern und sogar Asthmaanfälle verhindern. Denn ein steigender Stickoxidgehalt weist als Frühwarnzeichen darauf hin, dass die Medikation angepasst werden muss.

Auch auf der ISS ist Stickoxid ein interessantes Molekül. Staub und feinste Partikel schweben in der Schwerelosigkeit und werden von den Astronauten eingeatmet, was Entzündungen der Atemwege auslösen kann. Bei der Dekompressionskrankheit, die sich infolge von Weltraumspaziergängen entwickeln kann, spielt Stickoxid ebenfalls eine Rolle.

Die Europäische Weltraumorganisation ESA verwendet zur Messung des Stickoxidgehalts in der ausgeatmeten Luft ein leichtes, anwenderfreundliches, präzises Messgerät, mit dem man hofft, Entzündungen in den Atemwegen der Astronauten so frühzeitig zu erkennen, dass man Gegenmaßnahmen ergreifen kann, bevor gesundheitliche Probleme entstehen.



*Thomas Reiter, ehemaliger ESA-Astronaut,  
bei wissenschaftlichen Arbeiten am Nitric  
Oxide Analyzer (NOA) im Jahr 2006  
(Bild: ESA)*

Dieses Messgerät mit dem Namen NIOX MINO®, eine gemeinsame Entwicklung des schwedischen Unternehmens Aerocrine AB und der ESA, hat sich bereits auf Weltraummissionen, aber auch im Alltag auf der Erde bewährt.

Mittlerweile wird es in Gesundheitszentren für Patienten wie zum Beispiel Kalle genutzt, die damit ihr Asthma kontrollieren und die Wirksamkeit ihrer Medikamente überprüfen. So können sie diese genauer dosieren, die Zahl ihrer Anfälle senken und ihre Lebensqualität verbessern.

Weitere Informationen bei folgenden Ansprechpartnern:

Lars Karlsson und Lars Gustafsson

Karolinska Institutet, Stockholm, Schweden

Abt. für Physiologie und Pharmakologie

Karolinska Institutet

Nanna Svartz väg 2

S-171 77 Stockholm, Schweden

Tel.: +46 8 524 868 90

E-Mail: [Lars.Karlsson@ki.se](mailto:Lars.Karlsson@ki.se)

# Noch eine Prise Salz? Besser nicht, wenn es nach den Knochen der Astronauten geht!

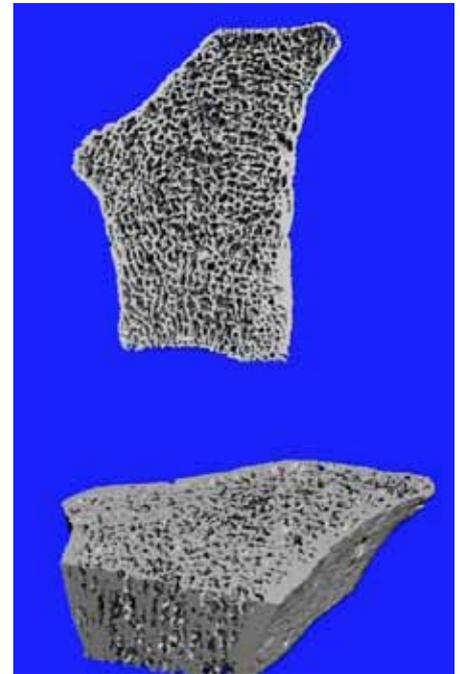
Europäische Weltraumorganisation ESA

Osteoporose ist eine schwere Krankheit, die die Lebensqualität von Millionen Menschen beeinträchtigt und allein in Europa Kosten von etwa 25 Milliarden Euro pro Jahr verursacht. Osteoporose trifft in der Regel ältere Menschen. In den Industrieländern nehmen aufgrund der steigenden Lebenserwartung auch die Osteoporose-bedingten Probleme zu.

Aber es gibt Hoffnung: Die Weltraumforschung könnte zu einer Lösung beitragen. Astronauten auf der Internationalen Raumstation leiden aufgrund der Schwerelosigkeit an einer besonders schnell verlaufenden Osteoporose. Andererseits stehen sie unter engmaschiger medizinischer Kontrolle und können die verlorene Knochenmasse nach der Rückkehr zur Erde wieder aufbauen.

Aus der Untersuchung körperlicher Veränderungen bei langen Weltraumaufenthalten lassen sich wichtige Erkenntnisse über die Abläufe bei einer Osteoporose – Kalziumverlust und Veränderungen der Knochenstruktur – ableiten, auf deren Grundlage man Gegenmaßnahmen entwickeln kann.

Seit den 1990er Jahren ist bekannt, dass der menschliche Körper bei Weltraumaufenthalten zwar Natrium speichert, nicht aber die entsprechende Menge an Wasser. In den Lehrbüchern jedoch konnte man lesen, das sei nicht möglich. So wurde die Natriumspeicherung im Weltraum zu einem wichtigen Untersuchungsthema.



pQCT-Aufnahme osteoporotischer Knochen in 3D (Bild: Scanco Medical AG)



In einer Reihe von Studien im Rahmen von Simulationen auf der Erde und bei Experimenten im Weltraum konnte gezeigt werden, dass der Körper nicht nur Natrium speichert (wahrscheinlich in der Haut), sondern dass dieses darüber hinaus das Säuregleichgewicht im Körper sowie den Knochenstoffwechsel beeinflusst. Eine hohe Kochsalzzufuhr erhöht somit den Säuregehalt des Körpers, was wiederum den Knochenabbau beschleunigen kann.

Kürzlich untersuchte die Europäische Weltraumorganisation ESA diesen Zusammenhang in einer Studie mit dem Titel SOLO (Sodium LOad in Microgravity – Natriumbelastung unter Mikrogravitation).

Beim SOLO-Experiment wird die Natriumspeicherung im Körper mit ihren Auswirkungen auf den Knochenstoffwechsel bei Astronauten untersucht. Man hofft auf Erkenntnisse, die sich auf medizinische Probleme auf der Erde, beispielsweise Osteoporose, anwenden lassen. (Bild: Istockphoto/S.Kaulitzki)

Neun Besatzungsmitglieder, darunter Frank De Winne und Paolo Nespoli von der ESA, hielten während ihrer Langzeitaufenthalte 2010 und 2011 eine salzreiche bzw. salzarme Diät ein. Die Auswertung der Studie könnte ergeben, dass sich zusätzliche negative Effekte vermeiden lassen, indem man entweder die Kochsalzzufuhr reduziert oder ein alkalisierendes Mittel wie Bikarbonat nimmt, um die Verschiebung im Säure-Basen-Haushalt auszugleichen. Dieses Forschungsprojekt im Weltraum wird allen osteoporosegefährdeten Menschen auf der Erde unmittelbar zugute kommen.

Weitere Informationen bei folgenden Ansprechpartnern:

Petra Frings-Meuthen  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)  
Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin  
Weltraumphysiologie  
Linder Höhe  
D-51147 Köln, Deutschland  
Tel.: +49 2203 601-3034  
Fax: +49 2203 61159  
E-Mail: [petra.frings-meuthen@dlr.de](mailto:petra.frings-meuthen@dlr.de)  
Internet: <http://www.dlr.de>



ESA-Astronaut Frank De Winne misst seine Körpermasse, eine zentrale Maßnahme beim SOLO-Experiment auf der ISS. (Bild: ESA)



ESA-Astronaut André Kuipers (links) und der russische Kosmonaut Oleg Kononenko (rechts) mit Nahrungsmitteln auf der ISS, Dezember 2011: Im Rahmen des SOLO-Experiments halten die Astronauten, die als Testpersonen fungieren, zwei unterschiedliche Diäten ein. Auf diese Weise untersucht man die physiologischen Wirkung von Kochsalz auf den Körper. (Bild: ESA)

# Impfstoffentwicklung auf der Internationalen Raumstation

*Tara Ruttley, Ph.D., Associate International Space Station Program Scientist*

NASA

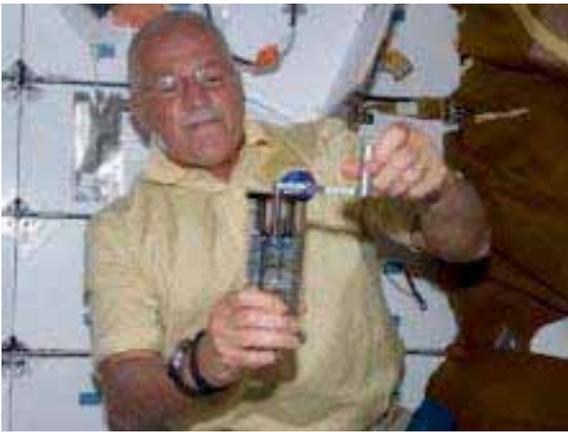
Hatten Sie je eine Lebensmittelvergiftung, die so schlimm war, dass Sie sich gefragt haben, warum eigentlich noch niemand ein Heilmittel oder eine zuverlässige Vorsorgemaßnahme dagegen entwickelt hat? Hatten Sie oder jemand aus Ihrem Umfeld schon einmal eine hochaggressive Staphylokokkeninfektion, die gegen nahezu jedes bekannte Antibiotikum resistent war? Die Entwicklung von Impfstoffen gegen diverse Krankheitserreger hat die gesundheitliche Situation weltweit in einer Weise verbessert, die wir uns noch zu Beginn des 20. Jh. nicht hätten vorstellen können. Aber noch immer werden wir von zahlreichen Krankheitserregern bedroht, vor denen wir uns gerne schützen würden. Heute macht man sich in der Impfstoffentwicklung die Schwerelosigkeit auf der Internationalen Raumstation zunutze.

Auf der Suche nach medizinischen Wirk- oder Impfstoffen gegen Salmonellen haben Timothy Hammond, Ph.D., vom Durham Veterans Affairs Medical Center, und Cheryl Nickerson, Ph.D., von der Arizona State University, Experimente unter Mikrogravitation durchgeführt. Salmonelleninfektionen gehören zu den häufigsten Lebensmittelvergiftungen in den USA. Weltweit gehören salmonellenbedingte Durchfallerkrankungen zu den drei häufigsten Todesursachen bei Kleinkindern. Ein Impfstoff dagegen könnte die gesundheitliche Situation gerade in Schwellen- und Entwicklungsländern erheblich verbessern. Die Bedingungen im Weltraum, so konnte gezeigt werden, verändern mikrobielle Zellen in einer Weise, die sich unmittelbar auf ihr infektiöses Potenzial auswirkt. Unter anderem kommt es zu Modifikationen der mikrobiellen Wachstumsraten, der Antibiotikaresistenz, der Virulenz (Grad der Fähigkeit von Mikroorganismen, Krankheiten auszulösen) sowie zu genetischen Veränderungen im Mikroorganismus und seiner Fähigkeit, Wirtsgewebe zu befallen. Alles in allem konnte anhand dieser Forschungsarbeiten nachgewiesen werden, dass die Virulenz der Organismen unter Mikrogravitation zunimmt. Mithilfe der mikrogravitationsbedingten Veränderungen konnten Ziele identifiziert werden, die die Entwicklung von neuen, verbesserten Therapeutika ermöglichen, zum Beispiel von Impfstoffen, Biologika oder pharmazeutischen Wirkstoffen, die Krankheitserreger gezielt abtöten.

Schon 1998 begannen erste Forschungsarbeiten, die die Grundlage für die Impfstoffentwicklung unter Mikrogravitation legten. Damals wurde eine Studie von Cheryl Nickerson zu Veränderungen bei Salmonellen unter Mikrogravitation von der NASA finanziert. Dies war die erste von zahlreichen weiteren Studien des Teams an Salmonellen, die in echter Schwerelosigkeit oder auf der Erde in simulierter Schwerelosigkeit gezüchtet wurden.



*Cheryl Nickerson vom Biodesign Institute der Arizona State University  
(Bild: Nick Meek)*

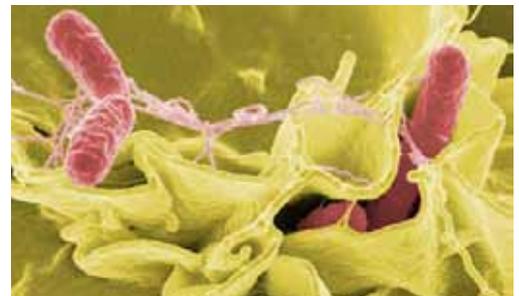


*Astronaut John Phillips, Spezialist auf der Mission STS-119, aktiviert das MRSA-Experiment auf dem mittleren Deck des Space Shuttles Discovery. (Bild: NASA)*

Bei nachfolgenden Experimenten auf Space-Shuttle-Flügen zur ISS wurde die Virulenz des Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus*, auch bekannt als MRSA, sowie weiterer Mikroorganismen untersucht. MRSA, eine Variante des *Staphylococcus*-Bakteriums, ist resistent gegen bestimmte Beta-Lactam-Antibiotika wie zum Beispiel Methicillin, Penicillin und Amoxicillin. Vor allem Patienten in Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen sind von schweren, ja sogar lebensgefährlichen MRSA-Infektionen bedroht. Denn dort sind Patienten aufgrund von offenen Wunden, invasiven Geräten und geschwächtem Immunsystem einem größeren Infektionsrisiko ausgesetzt als Gesunde. Daher hat sich MRSA im Gesundheitswesen längst zu einem erheblichen Risikofaktor ausgewachsen.

Studien an Salmonellen und MRSA im Weltraum gehören zum Pathfinder-Programm des ISS U.S. National Laboratory, das den Nutzen der ISS als Forschungsplattform für die kommerzielle Forschung und Entwicklung belegen soll. Im Rahmen des Pathfinder-Programms wird mithilfe von Weltraumexperimenten untersucht, welche Bestandteile von Mikroorganismen deren Virulenz verstärken. So hofft man, Ziele für antimikrobielle Therapeutika wie etwa Impfstoffe zu finden, und durch die Erforschung von Faktoren, die dem Wachstum und der Virulenz von Bakterien zugrunde liegen, neuartige Therapeutika und Impfstoffe entwickeln zu können. AstroGenetix, ein kommerzielles Unternehmen, hat bei seiner Forschung an Salmonellen im Weltraum bereits einen Kandidaten für einen potenziellen Impfstoff gegen diesen Krankheitserreger entdeckt und plant zurzeit dessen Prüfung und kommerzielle Entwicklung.

Erst kürzlich haben zwei Teams der Arizona State University unter der Leitung von Cheryl Nickerson und Roy Curtiss III, Ph.D., in Zusammenarbeit miteinander Impfstoffproben hergestellt, die mit der Space-Shuttle-Mission STS-135 zur ISS geflogen wurden. Ziel ist es, die vorhandenen Impfstoffe gegen *Streptococcus pneumoniae* zu verbessern, ein Bakterium, das lebensbedrohliche Erkrankungen wie Lungenentzündung, Hirnhautentzündung und Bakteriämie auslösen kann. Dieses Bakterium verursacht über 10 Millionen Todesfälle pro Jahr und ist für Neugeborene und alte Menschen besonders gefährlich, da diese weniger gut auf die heute verfügbaren Pneumokokken-Impfstoffe ansprechen. Ein weiterer Nachteil dieser Impfstoffe besteht darin, dass sie gespritzt werden müssen. Ein oraler Impfstoff namens RASV (Recombinant Attenuated *Salmonella* Vaccine) durchläuft zurzeit klinische Studien, und die Forscherteams der Arizona State University arbeiten daran, die Wirksamkeit des Impfstoffs gegen Pneumokokken durch Stimulation einer maximalen Immunantwort zu verstärken. „Wir haben die Chance“, so Nickerson, „die Raumfahrt als einzigartige Forschungs- und Entwicklungsplattform für neuartige Wirkstoffe zu nutzen und damit weltweit verheerende Krankheiten zu bekämpfen.“ Die zur ISS geflogenen Proben enthielten einen genetisch veränderten Salmonellenstamm mit einem protektiven Antigen gegen *Streptococcus pneumoniae*, das Lungenentzündungen verursacht. Die bei diesem Forschungsprojekt identifizierten molekularen Ziele sind vielversprechend für die Medizin: Man hofft, neue RASVs gegen Pneumokokken entwickeln und vorhandene verbessern zu können. Außerdem kann man RASVs gegen eine Vielzahl von Humanpathogenen erzeugen. Daher lassen sich die Studienergebnisse unter Umständen auch auf die Entwicklung anderer Impfstoffe übertragen, die nicht nur gegen Lungenentzündungen, sondern gegen zahlreiche weitere Krankheiten eingesetzt werden können.



*Das Bild zeigt, wie Salmonellen menschliche Zellkulturen befallen. (Bild mit freundlicher Genehmigung der Rocky Mountain Laboratories, NIAID, NIH)*

Dieses Projekt belegt, dass das ISS U.S. National Laboratory eine wertvolle Forschungsplattform darstellt und zum Nutzen der Menschheit eingesetzt werden kann. Die Identifikation therapeutischer Ziele zur Bekämpfung von MRSA- und Salmonelleninfektionen ist nur ein Beispiel für die Vorteile einer schwerelosen Umgebung bei der Entwicklung neuer pharmazeutischer Wirkstoffe. Je weiter die Station ausgebaut wird, desto mehr Möglichkeiten werden sich bieten, das ISS U.S. National Laboratory für die Wirkstoffforschung zu nutzen. Und auch dies ist nur ein kleiner Vorgeschmack auf eine Fülle weiterer potenzieller Entdeckungen in der Mikrogravitation. Die an den Projekten beteiligten Wissenschaftler planen eine kontinuierliche Serie von Experimenten in der Schwerelosigkeit der ISS und hoffen, möglichst schnell weitere Impfstoffe entwickeln und Leben retten zu können.

# Moderne Ultraschalltechnologie für Weltraum und Erde<sup>1</sup>

Scott A. Dulchavsky, M.D.<sup>2</sup>

Henry Ford Hospital

Kathleen Garcia, Douglas R. Hamilton (M.D., Ph.D.), Shannon Melton und Ashot E. Sargsyan (M.D.)<sup>3</sup>, Wyle Integrated Science and Engineering

Der Aufenthaltsort eines Menschen zum Zeitpunkt einer gesundheitlichen Krise bestimmt in vielen Fällen mit über das Ausmaß an Schmerzen und Leiden, die er erdulden muss, ja sogar über seine Überlebenschancen. Generell ist der Zugang zu medizinischer Versorgung umso schwieriger, je weiter entfernt von einer modernen Großstadt man sich befindet. Eine besondere Herausforderung ist natürlich die medizinische Versorgung von Menschen in abgelegenen Gebieten, auf weit entfernten Stützpunkten wie zum Beispiel Forschungsstationen in der Antarktis und eben auf der Internationalen Raumstation. Normalerweise liegt die medizinische Versorgung an abgelegenen Orten in den Händen von Personal mit nur geringen medizinischen Kenntnissen, und ärztliche Hilfe steht – wenn überhaupt – nur telefonisch oder über eine Internet-Verbindung zur Verfügung. Andererseits lassen sich die Folgen einer Erkrankung oder Verletzung für den Patienten selbst und darüber hinaus für die gesamte restliche Mission durch eine schnelle, präzise Diagnose und eine schnell einsetzende Behandlung mildern. Außerdem kann eine solche Diagnose Patienten an schwer erreichbaren Standorten unter Umständen eine teure, vielleicht sogar gefährliche Evakuierung ersparen, die sich im Nachhinein womöglich als gar nicht erforderlich erweist.

Ultraschall gehört zu den schnellsten, sichersten und vielseitigsten Diagnoseverfahren überhaupt. Er liefert einen großen Teil der Informationen, die sonst mithilfe sehr kostenintensiver Technologien gewonnen werden, beispielsweise Röntgenaufnahmen, Computertomographie oder Magnetresonanztomographie. Außerdem ist Ultraschall das einzige bildgebende Verfahren, mit dem man Aufnahmen live, also in Echtzeit, erzeugen, sofort interpretieren und anderswohin versenden kann. Richtig angewendet, lassen sich zahlreiche klinische Fragen durch Ultraschallaufnahmen unverzüglich beantworten, was die Zeit bis zur Diagnosestellung verkürzt und damit die Situation für den Patienten verbessert.

Das ADUM-Team (ADUM – Advanced Diagnostic Ultrasound in Microgravity), ein Forscherteam der NASA aus dem Johnson Space Center, testet neuartige Anwendungsmöglichkeiten von Ultraschall in großen medizinischen Einrichtungen und unter Laborbedingungen und passt diese dann an die Gegebenheiten auf Weltraumflügen an. Dazu konzipiert es Schulungen und Anweisungen für Bedienpersonal ohne medizinische Ausbildung. Die Mitglieder des ADUM-Teams können mit besonderen klinischen, wissenschaftlichen, technischen und didaktischen Fähigkeiten aufwarten und kennen zahlreiche telemedizinische Projekte und Programme aus eigener Erfahrung.

## *Tests auf der Erde: neue Anwendungsmöglichkeiten für Ultraschall*

Heutzutage wird Ultraschall routinemäßig in der Schwangerschaft sowie zur Diagnose diverser Erkrankungen des Bauchraums und der Gefäße eingesetzt, beispielsweise bei Problemen mit der Gallenblase oder bei Blutgerinnseln.

1. Nach einem Originalartikel aus *NASA Technology Innovation*, Band 15; 3, 2010; NP-2010-06-658-HQ.

2. Scott Dulchavsky, M.D., ist Leiter der Chirurgie am Henry Ford Hospital in Detroit, Michigan (USA), und Forschungsleiter des ADUM-Projekts.

3. Kathleen Garcia, Douglas Hamilton (M.D., Ph.D.), Shannon Melton und Ashot Sargsyan (M.D.) sind Mitarbeiter von Wyle Integrated Science and Engineering und Co-Investigatoren beim ADUM-Projekt. Wyle ist Hauptvertragspartner des NASA Johnson Space Center Bioastronautics Contract und beteiligt an medizinischen Projekten, Forschungsprojekten auf der Erde und im Weltraum, der Entwicklung und Herstellung von Systemen für Weltraumflüge sowie der wissenschaftlichen und der Missionsintegration.

Wir haben den Nutzwert von Ultraschalluntersuchungen bei zahlreichen weiteren medizinischen Problemen geprüft, darunter Lungenkollaps, Knochenbrüche, Augen- und Kopfverletzungen sowie Infektionen des Gebisses oder der Nebenhöhlen.

Patienten mit Brustverletzungen sind in Gefahr, einen Lungenkollaps (Pneumothorax) zu erleiden, der normalerweise durch Röntgenaufnahmen des Brustraums diagnostiziert wird. Das ADUM-Team entwickelte eine einfache Ultraschalltechnik für die Lunge, mit der sich ein Pneumothorax sogar präziser diagnostizieren lässt als mit einer Röntgenaufnahme. Die neue Technik ist in vielen Krankenhäusern und Traumazentren weltweit inzwischen Standard. Auf Parabolflügen mit simulierter Schwerelosigkeit wurden das Ultraschallgerät sowie die Fernsteuerverfahren und die Anweisungen für das Bedienpersonal getestet, und das gesamte Verfahren wurde auf seine Eignung für die medizinische Betreuung künftiger Weltraummissionen hin geprüft.

Das ADUM-Team entwickelte Anweisungskarten als Schnellanleitung für medizinische Laien bei der Ultraschalluntersuchung von Knochenverletzungen der Extremitäten. Es zeigte sich, dass diese Laien Knochenverletzungen nach nur wenigen Minuten Training mit über 90-prozentiger Genauigkeit diagnostizieren konnten. Auch Verletzungen an Muskeln, Gelenken und Sehnen lassen sich mit Ultraschall diagnostizieren. Darüber hinaus erlaubt Ultraschall die Darstellung von Muskeln und Gelenken in Bewegung und ist damit Röntgenaufnahmen oder anderen Techniken überlegen, die nur Bilder des Körpers in Ruhe zeigen können.

Für Astronauten besteht die Gefahr von Augenverletzungen durch Gegenstände, die in der Schwerelosigkeit eines Raumfahrzeugs umherfliegen. In letzter Zeit sind darüber hinaus Bedenken aufgekommen, längerfristige Aufenthalte in der Schwerelosigkeit könnten die Sehkraft schädigen. Mit Ultraschall lassen sich Fremdkörper im Auge und andere Probleme erkennen, die das Augenlicht bei Weltraumaufenthalten möglicherweise bedrohen. Außerdem können Ultraschalluntersuchungen der Augen wichtigen Aufschluss über den Zustand von Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma geben. Denn mithilfe von Ultraschall kann man die Größe des Nervs im Augenhintergrund ermitteln und auf diese Weise eine Hirnschwellung diagnostizieren.

#### *Schnellschulungen für medizinische Laien*

Bei einer Ultraschalluntersuchung wird eine Sonde über den Körper des Patienten bewegt. Diese sendet und empfängt Schallwellen, aus denen ein bewegtes Bild generiert wird. Die Qualität des Bildes hängt von der korrekten Platzierung und Bewegung der Sonde ab. Normalerweise erfordert die Technik Hunderte von Übungsstunden. Die Forscher im ADUM-Team fanden jedoch heraus, dass auch medizinische Laien Ultraschalldaten von guter Qualität erzielen können, wenn ein ferner Experte (also ein Experte an einem anderen Standort) ihnen die richtigen klinischen Fragen stellt und ihnen die richtigen Informationen und Anweisungen gibt.

Das ADUM-Team entwickelte ein zweisprachiges (Englisch und Russisch), computerbasiertes eLearning-Programm namens OPE (On-Board Proficiency Enhancement) mit schrittweisen Erläuterungen zu bestimmten Ultraschalluntersuchungen. Voraussetzung ist lediglich ein kurzes, praktisches Trainingsprogramm vor dem Flug. OPE enthält Module zum Einrichten des Ultraschallgeräts, zu grundlegenden und komplexeren Prinzipien des Ultraschalls, zur Anatomie, zu den Anweisungen durch ferne Experten sowie Prüfungsvorschläge mit einer Referenzsammlung von Ultraschallaufnahmen. Für alle Ultraschalluntersuchungen wurden Anweisungskarten entwickelt, die zeigen, wo die

Sonde platziert werden muss, damit man brauchbare Aufnahmen erhält. Das Trainingsprogramm kann in zwei bis drei Stunden absolviert werden und beinhaltet 30-minütige Auffrischungsmodule zum Durcharbeiten unmittelbar vor einer Untersuchung. Das vom ADUM-Team entwickelte Kernstück des Verfahrens ist die Anleitung durch ferne Experten, also durch Experten an einem anderen Standort. Bei einer Ultraschalluntersuchung arbeiten der ferne Experte und der medizinische Laie als Bediener vor Ort in einer virtuellen, gemeinsamen Arbeitsumgebung zusammen. Das vom Ultraschallgerät generierte Videobild wird über Satellit oder Internet an den fernen Experten übermittelt, der den Bediener über gesprochene Anweisungen leitet. Bei dieser Technik lassen sich die Trainingsanforderungen erheblich herunterschrauben (oftmals bis auf wenige Minuten), ohne dass die Qualität der Ultraschalluntersuchungen leidet.

#### *Ultraschall auf der ISS*

Die ersten Testläufe des neuen Konzepts mit Ultraschallaufnahmen von Herz und Bauchraum ebneten den Weg zu einer umfangreichen Serie von ADUM-Experimenten an Bord der ISS, gesponsert von der NASA und dem NSBRI (National Space Biomedical Research Institute). Dabei stellte das ADUM-Team die grundlegenden Merkmale des Konzepts in den Mittelpunkt: nur ein Minimum an Trainingsaufwand für die Astronauten und Kosmonauten vor dem Flug, computerbasierte eLearning-Auffrischungsmodule zum Durcharbeiten unmittelbar vor einer Untersuchung und die Anleitung durch einen fernen Experten bei komplexen Ultraschalluntersuchungen auf der ISS.

Zunächst führten einige ISS-Besatzungsmitglieder Ultraschalluntersuchungen des Herzens, der Gefäße und des Thorax in der nötigen Qualität für eine Diagnosestellung durch. Dann erhielten andere Astronauten zusätzlich ein Schnelltraining für Untersuchungen von Herz, Lunge, Blutgefäßen und Bauchraum sowie insbesondere des Muskel- und Skelettsystems. Allmonatlich führten die Besatzungsmitglieder zur Langzeitüberwachung von Knochenveränderungen in der Schwerelosigkeit Ultraschalluntersuchungen der Knochen durch. Danach erweiterte das ADUM-Team in Zusammenarbeit mit den Astronauten das Spektrum an Untersuchungen auf Gebiss, Nebenhöhlen und Augen. Am Ende folgte eine komplette Untersuchung des Herzens ohne direkte Videoverbindung, lediglich mithilfe gesprochener Anweisungen und einer Mustererkennungstechnik, die im Zuge des Experiments entwickelt worden war.

Mehr als 100 Stunden an Ultraschalluntersuchungen wurden an Langzeitbesatzungsmitgliedern der ISS durchgeführt und ergaben ein vollständiges Bild der körperlichen Veränderungen auf Weltraumflügen – buchstäblich von Kopf bis Fuß. Ende 2009 wurden die vom ADUM-Team entwickelten Techniken und Lösungen zur medizinischen Versorgung auf der ISS sowie für weltraumphysiologische Experimente und die klinische weltraummedizinische Forschung offiziell anerkannt.

#### *Anwendungsmöglichkeiten für die Erfahrungen aus den Ultraschallexperimenten*

Das ADUM-Team modifizierte die für die ISS entwickelten Trainingsmethoden und Fernbetreuungstechniken zur Verbesserung der medizinischen Versorgung auf der Erde. Trainer der Hockey-Mannschaft Detroit Red Wings und der Baseball-Mannschaft Detroit Tigers erlernten differenzierte Ultraschalluntersuchungsmethoden, um verletzten Sportlern auch ohne ärztliche Ausbildung helfen zu können. Im Umkleideraum der Sportstadien wurde ein tragbares Ultraschallgerät aufgestellt und es wurden spezielle Anweisungskarten für häufige Sportverletzungen entwickelt. Für die Betreuung durch ferne Experten richtete man Tele-Ultraschallverbindungen zwischen den Sportstadien und dem Henry Ford Hospital in Detroit, Michigan (USA), ein.

Erste Versuche mit den Hockey- und Baseball-Mannschaften ergaben, dass die Trainer durchaus in der Lage waren, komplexe Ultraschalluntersuchungen von Muskeln, Knochen und Gelenken schnell und mit hoher diagnostischer

Präzision durchzuführen, so dass die Verletzungen der Sportler direkt vor Ort diagnostiziert und versorgt werden konnten. Einige Mitglieder des ADUM-Teams passten das Konzept an die Anforderungen der Olympischen Trainingszentren in den USA an. Bei den Olympischen Spielen in Turin, Peking und Vancouver wurden bereits Hunderte von Sportlern mit Verdacht auf Verletzungen vor Ort mit Ultraschall untersucht.

Auch in schwer zugänglichen Gegenden wie dem Mount Everest oder dem Polarkreis kann das Verfahren inzwischen eingesetzt werden. Dazu entwickelte das ADUM-Team ein eigenständiges System, bestehend aus einem tragbaren Ultraschallgerät, Solarzellen, einer Satellitentelefonverbindung und einem Laptop mit den Schulungsprogrammen. Ein Bergsteiger führte im vorgeschobenen Basislager auf dem Mount Everest ohne vorherige Schulung, nur mithilfe von Anweisungskarten und der Anleitung eines fernen Experten, bei einem Bergkameraden eine komplette Ultraschalluntersuchung der Lunge durch. Der Neuling am Gerät schaffte es, Ultraschallaufnahmen in ausreichend hoher Qualität zu erzeugen, so dass der fernen Experte bei dem Patienten ein höhenbedingtes Lungenödem diagnostizieren konnte. Ein ähnliches System kam in der Resolute Bay am kanadischen Polarkreis zum Einsatz. Das heißt, mit dem neuen Verfahren können Bediener auch ohne ärztliche Ausbildung gezielte Ultraschalluntersuchungen fast aller Organsysteme durchführen.

Die für den Weltraum und andere schwer erreichbare Orte entwickelten Schnellschulungsprogramme für Ultraschalluntersuchungen erwiesen sich auch in der medizinischen Ausbildung als nützlich. Ein Trainingsprogramm, konzipiert von der Wayne State University School of Medicine, ist jetzt beim American College of Surgeons in Gebrauch und kommt bei der Ausbildung künftiger Chirurgen zum Einsatz.

#### *Zukunftspläne*

Zurzeit erarbeitet das ADUM-Team einen einfachen Schulungskatalog zu Ultraschalluntersuchungen des ganzen Körpers, der medizinische Laien bei der Diagnose unterschiedlichster medizinischer Probleme anleiten soll. Auch ein integriertes Telemedizinssystem ist in Arbeit. Dieses verbindet computerbasiertes Training, Ultraschalldiagnostik sowie die Kommunikation mit fernen Experten und soll eine hochwertige, medizinische Versorgung auch in abgelegenen, ländlichen, strukturschwachen oder unterentwickelten Regionen der Erde ermöglichen.

Ultraschall ist als Untersuchungstechnik für telemedizinische Anwendungen aus mehreren Gründen besonders attraktiv: Die Ultraschallaufnahmen entstehen in Echtzeit, sie lassen sich mühelos übertragen und ein ferner Experte kann einen medizinischen Laien anleiten. Gegenwärtig befasst sich das ADUM-Team mit der Möglichkeit, Ultraschall überall dort als effektives Mittel für eine primäre klinische Diagnostik einzusetzen, wo es als einzige (oder erste) Bildgebungstechnologie zur Verfügung steht oder nur wenige Fachleute zugegen sind. Das Team hat eine eLearning-Multimedia-Software entwickelt und bereits ausführlich getestet, die in Kombination mit der Betreuung bzw. Anleitung durch ferne Experten ein erstaunliches Potenzial entfaltet. Die neuen, gezielten Verfahren für Ultraschalluntersuchungen haben sich inzwischen nicht nur auf der ISS, sondern auch bei verschiedenen Anwendungen auf der Erde bewährt.

Ultraschall gehört zu den anpassungsfähigsten bildgebenden Diagnoseverfahren und eignet sich für zahlreiche chirurgische und sonstige medizinische Zwecke. Durch die Fortschritte in der Entwicklung tragbarer und bezahlbarer Systeme, gekoppelt mit ausgereiften Trainingsprogrammen und Tele-Ultraschall, lassen sich heute überall auf dem Planeten und darüber hinaus leistungsstarke Diagnosemöglichkeiten bereitstellen.

Zusammen mit seinen Partnern arbeitet das ADUM-Team weiter an der Entwicklung neuer Kenntnisse und Techniken, die der medizinischen Versorgung von Menschen auf der Erde, aber auch von Astronauten bei künftigen Forschungsmissionen in den Tiefen des Weltalls zugute kommen sollen.

# Früherkennung von Veränderungen des Immunsystems bewahrt Astronauten und Patienten auf der Erde vor schmerzhafter Gürtelrose<sup>4</sup>

*Satish K. Mehta, Ph.D., Senior Scientist, Enterprise Advisory Services*

*Duane L. Pierson, Ph.D., Chief Microbiologist*

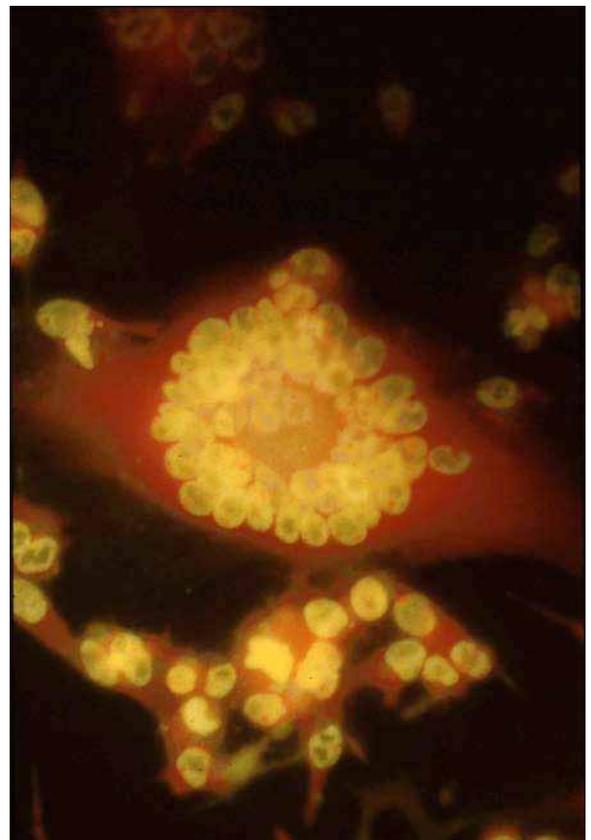
*C. Mark Ott, Ph.D., Senior Microbiologist*

*Johnson Space Center der NASA*

Die physiologischen, emotionalen und psychologischen Belastungen eines Raumflugs können das Immunsystem schwächen und ein Virus reaktivieren, das Gürtelrose verursacht, eine Krankheit, die mit schmerzhaften Hautausschlägen einhergeht. Die NASA hat ein Verfahren zur Früherkennung von Veränderungen des Immunsystems entwickelt, so dass mit einer Behandlung begonnen werden kann, bevor sich die schmerzhaften Hautveränderungen zeigen. Das Verfahren eignet sich für Astronauten genauso wie für Menschen auf der Erde. Durch die Früherkennung und die zeitig einsetzende Behandlung verkürzt sich die Dauer der Erkrankung und es kommt seltener zu Langzeitfolgen.

Bei Aufenthalten im Weltraum verändern sich einige Aspekte des menschlichen Immunsystems: Die unspezifische Abwehr, also der erste Schutzschild des Körpers gegen Krankheitserreger, sowie bestimmte Bestandteile der zellulären Abwehr sind bei Astronauten vermindert. Zwar treten Infektionserkrankungen bei kurzen Weltraumaufenthalten weder in höherer Zahl noch mit besonders schweren Verläufen auf. Doch können die Wissenschaftler der NASA Beeinträchtigungen des Immunsystems bei Langzeitmissionen im Weltraum nicht ausschließen.

Bei Gesunden ist es schwierig, geeignete Biomarker oder Indikatoren für den Zustand des Immunsystems zu finden. Untersuchungen an Astronauten haben aber gezeigt, dass Herpesviren für die Früherkennung von Veränderungen des Immunsystems besonders geeignet sind. Acht Arten von Herpesviren können den menschlichen Körper besiedeln, und praktisch jeder Mensch trägt einen oder mehrere dieser Virentypen in sich. Herpesviren verursachen verschiedene Krankheiten, das Herpes-simplex-Virus (HSV) zum Beispiel die bekannten „Fieberbläschen“, das Epstein-Barr-Virus (EBV) infektiöse Mononukleose und das Varicella-zoster-Virus (VZV) Windpocken und Gürtelrose. Bei immunsupprimierten Patienten können Herpesviren mehrere Krebsarten auslösen, beispielsweise Karzinome, lymphoproliferative Erkrankungen und andere.



*VZV-infizierte MeWo-Zellen: Zu erkennen sind die typischen, vom Herpesvirus induzierten, mehrkernigen Riesenzellen. Die Kulturen wurden zum Nachweis von RNA (rot) im Zytoplasma mit Acridinorange eingefärbt. (Bild: NASA)*

4. Nach einem Originalartikel aus *NASA Technology Innovation*, Band 15; 3, 2010; NP-2010-06-658-HQ.

Laut CDC (Centers for Disease Control and Prevention, USA) erkranken jährlich eine Million Menschen in den USA an Gürtelrose, und bei 100.000 bis 200.000 dieser Patienten entwickelt sich eine postherpetische oder Post-Zoster-Neuralgie (PHN oder PZN), eine extrem schmerzhafte und in manchen Fällen zu schweren Einschränkungen führende Krankheit, die Monate oder Jahre andauern kann. Auch die anderen sieben Herpesviren können sich wie das Varicella-zoster-Virus in verschiedenen Körpergeweben einnisten und lange inaktiv bleiben, werden aber bei einer Schwächung des Immunsystems wieder aktiv und lösen Krankheiten aus.

Der häufigste Grund für ein nachlassendes Immunsystem ist das Alter, aber auch chronischer Stress beeinträchtigt das Immunsystem und erhöht das Risiko von Sekundärerkrankungen wie der vom Varicella-zoster-Virus verursachten Gürtelrose. Weitere Gründe für eine geschwächte Immunabwehr sind Chemotherapien, Organtransplantationen und Infektionen wie HIV (humanes Immundefizienz-Virus). Die Reaktivierung ruhender Viren gilt mittlerweile als wichtiger Indikator für klinisch relevante Veränderungen des Immunsystems. Studien an immunschwachen Patienten zeigen, dass diese das Epstein-Barr-Virus in ihrem Speichel in 90-mal höherer Konzentration ausscheiden als Gesunde.

Astronauten tragen wie mindestens 95 Prozent aller Erwachsenen weltweit Herpesviren in sich. Lassen sich Herpesviren also in den Körperflüssigkeiten von Astronauten nachweisen, so ist dies ein wertvoller Biomarker für den Zustand ihres Immunsystems. Man geht davon aus, dass die beobachtete Schwächung des Immunsystems auf die verschiedenen Stressfaktoren zurückzuführen ist, die bei einem Weltraumaufenthalt auf die Astronauten einwirken. Forscher am Johnson Space Center der NASA haben herausgefunden, dass bei einem Weltraumaufenthalt vier Typen menschlicher Herpesviren reaktiviert werden und in den Körperflüssigkeiten in Erscheinung treten. Dass die Viren aus ihrem latenten Zustand erwachen und sich zu aktiven Infektionserregern entwickeln können, liegt an der reduzierten zellulären Abwehr. Die Viren vermehren sich und werden im Speichel, Urin oder Blut ausgeschieden. Durch eine Polymerasekettenreaktion (PCR) in virusspezifischen PCR-Assays kann man die gesuchten Viren nachweisen, quantifizieren und die virale DNA identifizieren. PCR-Assays sind hochempfindlich, hochspezifisch und ermöglichen die selektive Replikation viraler DNA-Sequenzen. Im Speichel von Astronauten gelang zum ersten Mal der Nachweis reaktivierter Varicella-zoster-Viren bei asymptomatischen Personen. Das von den Astronauten im Speichel ausgeschiedene Virus erwies sich als intakt und infektiös. Das heißt, es bildet eine Gefahr für nicht infizierte Personen.

Die PCR-Technologie wurde auch zur Untersuchung einer durch Varicella-zoster-Viren verursachten Gürtelrose bei Patienten aus der Normalbevölkerung eingesetzt. In der Studie, an der Ärzte des University of Texas Health Science Center in Houston und NASA-Wissenschaftler des Johnson Space Center teilnahmen, ließ sich das Virus am Tag des Behandlungsbeginns im Speichel aller 54 Gürtelrosepatienten nachweisen. Durch eine antivirale Therapie gingen Schmerzen und Hautausschläge zurück, ebenso wie die Zahl der Viren. Die Studie ergab aber auch, dass sich die Virenlast der weniger stark belasteten Gürtelrosepatienten vor Behandlungsbeginn mit der Virenlast der stärker belasteten unter den gesunden Astronauten überschneidet. Das heißt, dass bei einer Weltraummission durchaus die Gefahr eines Gürtelroseausbruchs infolge reaktivierter Varicella-zoster-Viren besteht.

Mithilfe des neuen Früherkennungsverfahrens konnte bei einem 21 Jahre alten Patienten rasch eine Gürtelrose diagnostiziert und eine Behandlung eingeleitet werden. Dank der schnellen Intervention traten bei dem Patienten keine Hautausschläge auf, und auch die Dauer der schmerzhaften akuten Krankheitsphase ließ sich verkürzen. In einer anderen NASA-Studie wurden mithilfe der PCR in allen 25 untersuchten Gürtelrosepatienten Varicella-zoster-Viren im Serum und in peripheren mononuklearen Blutzellen (PBMC) entdeckt. Damit konnte zum ersten Mal nachgewiesen werden, dass sich Gürtelrose üblicherweise in Form einer Virämie (Viren im Blut) manifestiert. Für PCR-Assays ist jedoch eine umfangreiche, komplexe und daher für Weltraumflüge ungeeignete Ausstattung erforderlich.

Um dieses Problem zu lösen und Astronauten im Weltraum auf reaktivierte Viren untersuchen zu können, entwickelte die NASA ein Schnellverfahren zum Nachweis von Varicella-zoster-Viren in Körperflüssigkeiten, für das bereits ein Patentantrag gestellt ist. Für das neue Verfahren ist lediglich eine kleine Speichelprobe erforderlich, die mit speziellen Reagenzien gemischt wird. Sind Varicella-zoster-Viren vorhanden, färbt sich die Probe rot. Das Verfahren ermöglicht eine Früherkennung vor dem Auftreten der ersten Hautveränderungen. Die antivirale Therapie kann also sehr schnell begonnen werden, was die Nervenschäden reduziert und dem offenen Ausbruch der Krankheit vorbeugt. Auch eine postherpetische Neuralgie dürfte sich – so die Erwartungen – dadurch verhindern lassen. Die für das neue Verfahren notwendige Ausstattung eignet sich ebenso für Weltraummissionen wie für Arztpraxen auf der Erde. Außerdem lässt sich das Verfahren problemlos modifizieren und zum Nachweis anderer Viren in Speichel, Urin, Blut und Rückenmarksflüssigkeit nutzen. Seine Empfindlichkeit und Spezifität beruhen auf einer Antikörper-Antigen-Reaktion.

In einer weiteren gemeinsamen Studie entwickelten Forscher der NASA und des Health Science Center der Universität von Colorado in Denver ein Probennahmeverfahren zum Nachweis von Stresshormonen im Speichel, das bei Space-Shuttle-Missionen zum Einsatz kommen kann. Dazu werden Speichelproben genommen und auf einzelnen Streifen Filterpapier getrocknet. Die getrockneten Proben bleiben bei Zimmertemperatur bis zu sechs Monate lang stabil und können nach der Rückkehr zur Erde untersucht werden. Bei dem Test wird der Gehalt an Cortisol und Dehydroepiandrosteron (DHEA) gemessen, zwei wichtigen Hormonen für die Stress- und die Immunregulation. Das Filterpapier eignet sich auch für Proteine und andere zu untersuchende Moleküle im Speichel. Zurzeit wird das Filterpapier in Heftform bereits an Universitäten und staatlichen Labors zum Sammeln von Speichelproben eingesetzt.

Die Studien belegen den Nutzen dieses Verfahrens für die öffentliche Gesundheit zur Prävention einer schmerzhaften und möglicherweise folgenreichen Erkrankung, die allein in den USA bis zu eine Million Menschen pro Jahr trifft..

# Gezielter Wirkstofftransport in der Krebstherapie

Tara Ruttley, Ph.D., Associate International Space Station Program Scientist  
NASA

Die Medizin ist ständig auf der Suche nach besseren Krebstherapien, und die Internationale Raumstation hat sich dank Mikrogravitation als nützliche Plattform für Fortschritte in der Krebsforschung erwiesen.

In der Onkologie werden seit Kurzem verschiedene Mikroverkapselungstechniken für die Behandlung von Krebserkrankungen eingesetzt. Mikroverkapselung ist ein Verfahren, bei dem in einem einzigen Schritt winzige, mit Flüssigkeit gefüllte, biologisch abbaubare Mikrokügelchen erzeugt werden, die verschiedene Wirkstofflösungen enthalten. Mithilfe dieser Kügelchen lässt sich in der Medizin der Wirkstofftransport verbessern, woraus sich neue Behandlungsmöglichkeiten für solide Tumore und resistente Infektionen ergeben. In Mikrokapseln können tumorhemmende Medikamente und Marker zur Visualisierung gezielt direkt zum Tumor transportiert werden. Das hat im Vergleich zu systemischen Behandlungsformen wie Chemotherapien gleich mehrere Vorteile. Tests im Mausmodell haben gezeigt, dass Mikrokapseln beim Menschen in Prostata Tumore injiziert werden können, dort das Tumorstadium hemmen und dass sie, injiziert nach einer Kryotherapie (Vereisung), eine weitaus stärkere Zerstörung des Tumorgewebes bewirken als Kryochirurgie oder lokale Chemotherapie allein. Darüber hinaus enthalten die Mikrokapseln ein Kontrastmittel, mit dem ihre Verteilung im Gewebe mittels CT-, Röntgen- oder Ultraschallaufnahmen überprüft werden kann, um sicherzustellen, dass die Mikrokapseln ihre Wirkstoffe überall im Tumor freisetzen.



Mikroverkapselung einzelner Zellen (Bild: NASA)



Im Jahr 2002 fand auf der ISS unter der Leitung von Dennis Morrison, Ph.D. (im Ruhestand), am Johnson Space Center der NASA das MEPS-II-Experiment (Microencapsulation Electrostatic Processing System-II) statt. Geforscht wurde an der innovativen Verkapselung von mehreren unterschiedlichen Krebsmedikamenten, magnetischen Trigger-Partikeln und genetisch veränderter DNA. Bei dem Experiment konnten die bekannten Techniken der Mikroverkapselung verbessert werden, denn unter Mikrogravitation verändern sich die Strömungsmechanik, das Grenzflächenverhalten und die biologischen Aufbereitungsverfahren im Vergleich zur Erzeugung von Mikrokapseln unter Schwerkrafteinfluss.

Im MEPS-II-System auf der ISS wurden zwei unvermischbare Flüssigkeiten so zusammengeführt, dass an den Grenzflächen der beiden Flüssigkeiten die Oberflächenspannung anstelle der Scherkräfte dominierte. Die signifikante Überlegenheit der Mikrokapseln aus dem Weltraum als Transportsystem für Krebstherapeutika regte die Entwicklung des PFMS (Pulse Flow Microencapsulation System) an, mit dem auf der Erde Mikrokapseln in vergleichbarer Qualität wie im Weltraum erzeugt werden können.



*Mikrokapseln mit Krebswirkstoffen, hergestellt auf der ISS  
(Bild: NASA)*

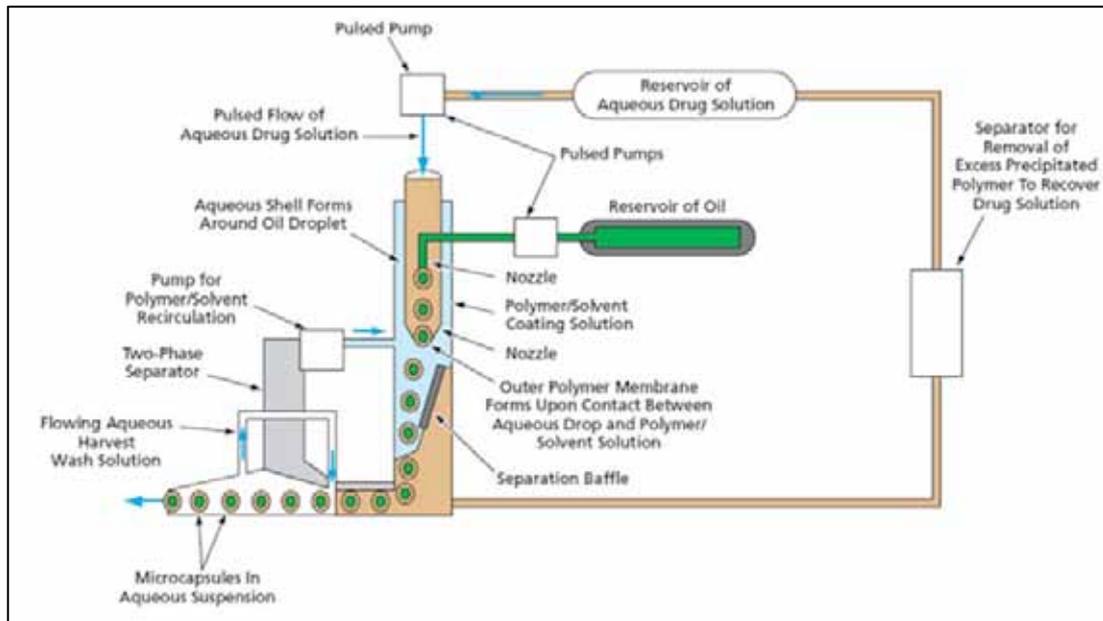
Das Forschungsprojekt MEPS-II auf der ISS erbrachte neue Erkenntnisse über die optimalen Formulierungen und Bedingungen bei der Herstellung von Mikrokapseln mit mehreren Wirkstoffen, insbesondere speziellen Kapseln mit Trigger-Partikeln und Substanzen für die diagnostische Bildgebung. Diese Experimente zur Co-Verkapselung mehrerer Krebsmedikamente und photodynamischer Wirkstoffe legten die Grundlagen für neue technische Strategien bei der Herstellung von Mikrokapseln hier auf der Erde, die ihre Wirkstoffe gezielt im Krebsgewebe von Patienten freisetzen. Mittlerweile gibt es auch andere Mikrokapseln zur Behandlung tiefer Gewebeeinfektionen und Blutgerinnungsstörungen sowie zur Freisetzung genetisch veränderter Substanzen für mögliche Gentherapien. Die Wirksamkeit von Mikrokapseln, die auf der ISS hergestellt wurden und das Wachstum von Prostata Tumoren beim Menschen hemmen sollen, konnte unter Laborbedingungen

erfolgreich nachgewiesen werden. Zwar hatten Morrison und sein Team bereits auf Space-Shuttle-Missionen zahlreiche vergleichbare Experimente durchgeführt, doch da auf der ISS auch Langzeitexperimente möglich sind, konnten bei den acht Mikroverkapselungsversuchen, die dort im Jahr 2002 abliefen, größere Fortschritte erzielt werden als bei den über 60 vorangegangenen Versuchen auf den vier Space-Shuttle-Missionen STS-77, STS-80, STS-95 und STS-107.

#### *Vorteile der Forschung auf der ISS*

Die Mikrogravitation auf der ISS ebnete den Weg zu besseren Verfahren der Mikrokapselentwicklung hier auf der Erde. Auf der Grundlage der Mikroverkapselungsversuche an Bord der ISS wurden neue, auf der Erde nutzbare Techniken zur Herstellung spezieller Mikrokügelchen entwickelt, die ihre Wirkstoffe über einen Zeitraum von 12 bis 14 Tagen nach und nach freisetzen. Die Forschungsarbeiten auf der ISS mündeten direkt in fünf US-amerikanischen Patenten, für die die NASA bereits Lizenzen vergeben hat. Zwei weitere Patente stehen an. NuVue Therapeutics, Inc., hat als eines von mehreren kommerziellen Unternehmen einige der MEPS-Technologien und -Methoden in Lizenz erworben und arbeitet an der Entwicklung neuer Anwendungen, beispielsweise innovativer Ultraschallnadeln und -katheter für den Transport der Mikrokapseln mit den Krebsmedikamenten direkt zum Tumor. Bei humanmedizinischen Forschungsprojekten in jüngerer Zeit kommt ein neuartiges Gerät für die Kryoablation (Vereisung) von Prostata- oder Lungentumoren zum Einsatz, gefolgt von der ultraschallgeführten Deposition mehrschichtiger Mikrokapseln mit verschiedenen chemotherapeutischen Wirkstoffen außerhalb der vereisten Zone. In einer 28-tägigen Studie zeigte sich bei der Kombinationstherapie eine Verlangsamung des Tumorwachstums um 78 Prozent und eine Tumorregression von bis zu 30 Prozent nach nur drei wöchentlichen Injektionen winzigster Mengen des mikroverkapselten Wirkstoffs, die das Tumorwachstum bei einer herkömmlichen Therapie um höchstens 5 bis 10 Prozent verlangsamt hätten. Inzwischen hat NuVue Technologies, Inc., für seine Kombinationstherapie mit Deposition der von der NASA entwickelten Mikrokapseln zwei US-amerikanische Patente erhalten. Sobald die Finanzierung gesichert ist, werden am MD Anderson Cancer Center in Houston, Texas, und am Mayo Cancer Center in Scottsdale, Arizona, klinische Studien zur direkten Injektion von Mikrokapseln mit Krebsmedikamenten in den Tumor beginnen.

Weitere potenzielle Einsatzgebiete für die Mikroverkapselungstechnologie sind unter anderem die Mikroverkapselung genetisch veränderter, lebender Zellen zur Injektion bzw. Transplantation in geschädigte Gewebe, Verbesserungen der Gewebereparatur beim Menschen sowie Echtzeitanalysen von Mikropartikeln in fließenden Probenströmen zur Überwachung des Durchflussvolumens in Pipelines in der Petrochemie.



Schematische Darstellung eines Mikroverkapselungssystems mit Impulspumpe (Bild: NASA)

# Moderne NASA-Technologie unterstützt Wasseraufbereitungsprojekte weltweit

---

*Arun Joshi, International Space Station Program Science Office  
Johnson Space Center der NASA*

Ob in der abgeschlossenen Welt der Internationalen Raumstation oder in einer winzigen Hütte in Afrika, südlich der Sahara – überall ist Trinkwasser lebenswichtig. Allerdings haben viele Menschen weltweit zu wenig oder gar keinen Zugang zu sauberem Wasser. Aber dank einer Technologie, die für die ISS entwickelt wurde, stehen in Risikogebieten jetzt fortschrittliche Wasserfilterungs- und -reinigungssysteme zur Verfügung, die vielen Menschen das Leben retten können.

Concern for Kids (CFK), eine gemeinnützige Organisation aus Nye, Montana (USA), leistet bereits seit 1992 Entwicklungs- und Katastrophenhilfe in Ländern wie Malaysia, Irak und Indonesien. Unter anderem sammelt die Organisation Gelder zur Installation von Wasserversorgungssystemen und Wassertanks in Risikogebieten. Jahre, nachdem ein Tiefbrunnen im winzigen kurdischen Dorf Kendala im Irak trocken gefallen war, so dass die Einwohner kein Trinkwasser mehr zur Verfügung hatten, erfuhren Vertreter von CFK von dem Problem. Die Bevölkerung war mittlerweile von 1.000 auf nur noch 150 Menschen geschrumpft. Die verbleibenden Einwohner waren gezwungen, sich aus einem Bach in der Nähe mit Wasser zu versorgen. Dieses Wasser wurde allerdings durch Vieh verunreinigt und die Menschen filterten es mithilfe von Stoffstücken, um Schmutz und Unrat daraus zu entfernen.

Todd Harrison, seinerzeit Vorstandsvorsitzender von CFK, ging die Situation der Menschen in Kendala sehr nahe. Er machte es sich zur Aufgabe, der kränkelnden Gemeinde durch eine Verbesserung ihrer beklagenswerten Situation zu neuem Leben zu verhelfen. Die Lösung kam über Beziehungen zu NASA-Ingenieuren zustande, die an der Entwicklung von Technologien zur Trinkwasserversorgung der ISS arbeiteten.

Harrisons Schwester Robin Carrasquillo war die technische Leiterin des ECLSS-Projekts (Environmental Control and Life Support System – Lebenserhaltungssystem der ISS) im Marshall Space Flight Center der NASA. Sie und ihr Team von Ingenieuren entwickelten ein hochmodernes Lebenserhaltungssystem zum Recycling von Luft und Wasser an Bord der ISS.

Denn nur durch effizientes Abwasserrecycling lässt sich auf der ISS der Bedarf an Wassernachschub durch Versorgungsschiffe reduzieren, was bei Langzeitmissionen absolut notwendig ist. Ohne Recycling wäre die Logistik der ISS überfordert und die Versorgung der sechs Personen zählenden Standardbesatzung nicht möglich. „In einem Jahr überstieg das durch Recycling eingesparte Wasser das ursprüngliche Startgewicht und das Gewicht von Ersatzteilen, die aufgrund von Anfangsproblemen gebraucht wurden“, so Robin Carrasquillo.

Das Lebenserhaltungssystem ECLSS der Internationalen Raumstation besteht aus zwei Hauptkomponenten, dem WRS (Water Recovery System – Wasserrückgewinnungssystem) und dem OGS (Oxygen Generation System – Sauerstofferzeugungssystem). Im WRS laufen die Wasserreinigungs- und -filterprozesse des ECLSS ab. Kommerzielle Unternehmen zeigten schon bald Interesse an diesem Teil des ECLSS-Projekts, da sie hofften, die Technologie auch für Wasseraufbereitungsanlagen auf der Erde einsetzen zu können.



*Das WRS (Water Recovery System – Wasserrückgewinnungssystem), Teil des ECLSS (Environmental Control and Life Support System – Lebenserhaltungssystem) der ISS (Bild: NASA)*

Da Harrison mit der Arbeit seiner Schwester vertraut war, erkannte er eine Möglichkeit, die Wasserfilterungstechnologie der NASA für CFK zu nutzen. Aus früheren Forschungen der NASA war das so genannte MCV (Microbial Check Valve – mikrobielles Sperrventil) hervorgegangen, eine unverzichtbare Komponente für die Reinigung und Filterung.



*Ehrenamtliche Helfer bei Installation und Test einer Wasseraufbereitungsanlage in Kendala, Irak (Bild mit freundlicher Genehmigung von Concern for Kids)*

Das MCV, ursprünglich eine Entwicklung der Umpqua Research Corporation für das Space-Shuttle-Programm, wurde später an die Water Security Corporation (WSC) verkauft. Das MCV besteht aus einem jodierten Harz, mit dem sich das Wachstum von Mikroorganismen im Wasser auch ohne Stromversorgung problemlos unterbinden lässt. Reichert man Wasser mit Jod an, so ergibt sich daraus ein zweiter, ernährungsphysiologischer Vorteil für die Bevölkerung. Denn Jod in der Nahrung unterstützt die Hirnfunktion und trägt zur Aufrechterhaltung eines gesunden Hormonspiegels im Körper bei, der wiederum die Zellentwicklung und das Zellwachstum reguliert. Kinder, deren Nahrung zu wenig Jod enthält, leiden unter Verzögerungen der geistigen Entwicklung.

Mit der Hilfe von Personal des Civil Affairs and Psychological Operations Command (Airborne) der US-Armee wurden ein 2.000 Liter fassender Wassertank und Trinkwasser in das kurdische Dorf transportiert. Man installierte eine Wasseraufbereitungsanlage mit einem MCV, das die Sauberkeit des Wassers gewährleistet, so dass es nicht zu Bakterien- oder Virenkontaminationen kommen kann. Robin Carrasquillo erinnert sich noch gut an die Mühen und Herausforderungen des Aufbaus: „[CFK] hatte mit einigen technischen Problemen zu kämpfen und unsere Gruppe unterstützte sie per Telefon. Das MCV war beim Transport ausgetrocknet. Wir prüften die Sache und konnten Entwarnung geben – das MCV war trotzdem noch brauchbar. Außerdem waren die Pumpen, die im Dorf zur Verfügung standen, für das Filtersystem zu groß.“

Carrasquillos Team entwickelte und implementierte eine Umgehung, so dass man eine der vorhandenen Pumpen nutzen und das System unverzüglich in Betrieb nehmen konnte. Dank dieser Lösung kann in Kendala jetzt Wasser aufbereitet werden.

Die Zusammenarbeit zwischen Hilfsorganisationen und der NASA zeigt, wie effektiv sich die Weltraumforschung auf die Lösung globaler Probleme anwenden lässt. Nach diesem ersten Einsatz und der darauf folgenden kommerziellen Nutzung der ISS-Technologie konnte schon vielen Menschen in Entwicklungsländern und Katastrophengebieten weltweit geholfen werden. Chiapas und Vera Cruz in Mexiko, Kampang Salak in Malaysia, Sabana San Juan in der Dominikanischen Republik und Balakot in Pakistan sind nur ein paar Beispiele für Städte, die heute von dieser fortschrittlichen Filtertechnologie profitieren. Dazu kommen weitere Entwicklungen, darunter ein Gerät für den persönlichen Gebrauch, mit dem sich Urin durch Vorwärtsosmose in Trinkwasser verwandeln lässt. Die WSC (Water Security Corporation) lizenzierte das Gerät für kommerzielle Filtersysteme auf der ganzen Welt.



## Erdbeobachtung von der ISS aus – mehr als nur Handkamerabilder

*William L. Stefanov*

*Chief Scientist, Science Applications, Research and Development Department, Jacobs<sup>5</sup>*

Seit die Internationale Raumstation im November 2000 in Betrieb genommen wurde, haben die Astronauten an Bord im Rahmen des Programms [Crew Earth Observations](#) über 600.000 Bilder der Landmassen und Ozeane der Erde und atmosphärischer Phänomene aufgenommen, ja sogar Bilder des Mondes von der Erdumlaufbahn aus. Für diese Foto- und Filmaufnahmen verwenden sie digitale Handkameras. Trotz dieser Bilderflut und trotz ihrer offenkundigen Eignung zur Fernerkundung der Erde wird die ISS von vielen Fernerkundungsexperten nicht als Erdbeobachtungsplattform wahrgenommen. Doch dank der Installation neuer Geräte und hochmoderner Sensorsysteme an der ISS im Lauf der letzten beiden Jahre – und weiterer, in Planung begriffener Installationen – ändert sich das.

Was aber vermag die Internationale Raumstation bei der Fernerkundung der Erde zu leisten, was frei fliegende, mit Robotern bestückte Satellitensysteme nicht zu bieten haben?

### *Bilder bei unterschiedlichsten Lichtverhältnissen*

Im Gegensatz zu zahlreichen herkömmlichen Erdbeobachtungsplattformen umkreist die ISS die Erde in einer geneigten, äquatorialen, nicht sonnensynchronen Umlaufbahn. Das heißt, die ISS passiert die Erde in einem Winkel zwischen 52 Grad nördlicher und 52 Grad südlicher Breite, und zwar zu verschiedenen Tages- und Nachtzeiten und bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen. Satelliten mit Fernerkundungssensoren zur Erdbeobachtung wie Landsat7 oder Terra dagegen befinden sich in der Regel auf einer polaren, sonnensynchronen Umlaufbahn. Sie passieren die gleiche Stelle auf der Erdoberfläche in Abständen von etwa zwei Wochen immer zu etwa der gleichen Tageszeit. Aufnahmen unter vergleichbaren Lichtverhältnissen sind zwar



*ISSAC-Aufnahme von Charlotte Harbor, Florida (USA), im ersten Tageslicht. Die Aufnahme entstand am 10. Juni 2011 und wurde über ein Grundbild von Landsat 5 gelegt. Die ISSAC-Aufnahme wurde so bearbeitet, dass Vegetation in Rot, urbane Zonen in Grau, Wasserflächen in Schwarz und Wolken in reinem Weiß erscheinen.*

<sup>5</sup> William L. Stefanov ist Mitarbeiter von Jacobs, Hauptvertragspartner des NASA Johnson Space Center Engineering and Science Contract.

bestens geeignet, um gleich bleibende Daten einer bestimmten Region zu generieren, aber die Zeit für die Erfassung dieser Daten ist beschränkt (in den meisten Fällen auf die Zeit um den örtlichen Sonnenhöchststand). Sollen jedoch Oberflächenprozesse untersucht werden, die normalerweise früh am Morgen oder spät am Nachmittag auftreten, beispielsweise Gesetzmäßigkeiten in der Bildung küstennaher Nebelbänke, so lassen sich die benötigten Daten mit Satelliten auf polaren, sonnensynchronen Umlaufbahnen nur schwer gewinnen.

#### *Flexible Datenerfassung*

Ein weiterer besonderer Vorteil der ISS ist die Besatzung, denn diese kann unverzüglich auf neue Situationen reagieren und braucht kein neues Datenerfassungsprogramm, das erst noch von der Bodenstation hochgeladen werden muss. Das fällt insbesondere bei plötzlichen und unerwarteten Naturereignissen ins Gewicht, wie zum Beispiel Vulkanausbrüchen, Erdbeben und Tsunamis. Darüber hinaus kann die Besatzung erkennen, ob die Sichtbedingungen – beispielsweise die Wolkendecke oder die Lichtverhältnisse – für brauchbare Aufnahmen überhaupt geeignet sind, während ein Robotersensor automatisch Bilddaten generiert, ganz ohne Rücksicht auf deren Qualität.

Neben den digitalen Handkameras der Astronauten erschließen auch die schon bestehenden, automatischen, internen und externen Sensor- und anderen Systeme an Bord der ISS interessante neue Möglichkeiten für die Fernerkundung der Erde. Darüber hinaus beflügeln die Leistungsstärke und Dateninfrastruktur der ISS die Entwicklung neuer Sensoren. Folgende Erdbeobachtungssysteme unter Leitung der NASA sind auf der ISS bereits heute in Betrieb oder werden in nächster Zeit in Betrieb gehen (bzw. sind zum Transport auf die ISS vorgesehen):

- WOLF (Window Observational Research Facility) besteht aus einer hochstabilen, internen Plattform, die zur Stabilisierung von Kameras und Sensoren dient und mit Stromanschlüssen, Befehls- und Datenverbindungen sowie einer Kühlung ausgestattet ist. Dank WOLF können die hervorragenden optischen Eigenschaften des Nadir-Beobachtungsfensters im US-Labormodul Destiny, das senkrecht nach unten auf die Erde gerichtet ist, nun zum ersten Mal in vollem Umfang genutzt werden.
- ISSAC (International Space Station Agricultural Camera) wurde von einer Fakultät der Universität von Norddakota, USA, und ihren Studenten entwickelt. Hauptzweck ist die Erfassung multispektraler Bilddaten für die Landwirtschaft und für damit zusammenhängende Forschungsprojekte im oberen Mittleren Westen der USA. Außerdem können mit ISSAC auch



*Echtfarbenbild der Bucht von Monterey, Kalifornien (USA), aufgenommen von HICO am 27. März 2010.*

Aufnahmen von Naturereignissen bzw. Naturkatastrophen angefertigt und von der NASA für humanitäre Zwecke verwendet werden. ISSAC erfasst Bildinformationen im sichtbaren und im Nahinfrarotspektrum (3 Bänder) und erreicht eine nominelle Bodenauflösung von 20 m pro Pixel.

- HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean) ist an der Außenplattform des japanischen Labormoduls Kibo installiert. Hauptzweck von HICO ist die Erfassung von Bilddaten zu Wasserklarheit, Bodenbeschaffenheit, Wassertiefe und Küstenvegetation an den Rändern der Ozeane, und zwar mit einer Bodenauflösung von etwa 90 m pro Pixel. Mit dem Sensor können hochwertige Bilddaten in 87 Bändern des sichtbaren und des Nahinfrarotspektrums erfasst werden.
- ISERV (International Space Station SERVIR Environmental Research and Visualization System) ist ein Sensorsystem und befindet sich noch in Planung. Es besteht aus einem Schmidt-Cassegrain-Teleskop in Verbindung mit einem digitalen Kamerasystem und nimmt Bilder im sichtbaren Spektrum mit einer Bodenauflösung von unter 3 m pro Pixel auf. Das hochstabile und äußerst zielgenaue System soll auf der WOLF-Plattform installiert werden. Der Sensor soll mit seinen geografischen Daten das humanitäre SERVIR-Programm unterstützen, das Hilfseinsätze in Entwicklungsländern, Katastrophenhilfsprojekte und humanitäre Unterstützung umfasst.

Zurzeit verwalten einzelne Wissenschaftlerteams den Zugriff auf die von den verschiedenen Sensorsystemen erfassten Daten, aber für die Zukunft ist ein zentrales Datenzugriffssystem geplant. Außerdem verspricht man sich von der besonderen Situation auf der ISS – autonome Sensorsysteme und eine menschliche Besatzung – erhebliche Verbesserungen bei der Erdbeobachtung und bei der Reaktion auf Naturkatastrophen und andere Ereignisse. So ergänzen die Erdbeobachtungssysteme der ISS die internationalen Satellitensysteme zur Erdbeobachtung in idealer Weise. Alle Systeme zusammen werden uns wertvolle neue Erkenntnisse über unseren Heimatplaneten verschaffen.

# Bilder der ISS unterstützen Inselstaaten beim Management von Korallenriffen

---

*Johnson Space Center der NASA*

Für viele tropische Insel- und Küstenstaaten, insbesondere im Pazifischen und im Indischen Ozean, sind Korallenriffe eine überaus wichtige Ressource. Diese Staaten brauchen das reiche Ökosystem der Riffe als Grundlage für die lokale Fischerei. Darüber hinaus bilden die Riffe Barrieren, die die Küsten vor der Brandung und vor Sturmfluten schützen. Außerdem ziehen Korallenriffe Touristen an und sind allein dadurch eine beträchtliche Einnahmequelle. Fotos von Korallenriffen, aufgenommen von Astronauten auf der Internationalen Raumstation, geben wichtige Einblicke in die Geografie der Korallenriffe, die Küstenentwicklung und die Situation in den angrenzenden Küstenregionen.

In den letzten Jahren hat die Wissenschaft erkannt, dass Korallenriffe weltweit durch großräumige Prozesse wie die Erderwärmung und den damit verbundenen Anstieg des Meeresspiegels sowie durch die Erwärmung und Versauerung der Ozeane ebenso bedroht sind wie durch die Aktivitäten der Menschen vor Ort, beispielsweise durch Küstenentwicklung, Überfischung und starken Tourismus (siehe „Reefs at Risk“ und „Mapping the Decline of Coral Reefs“). Ein Zusammenbruch einzelner Riffsysteme würde sich auf die betroffenen Inselstaaten und Küstenbewohner, die von den Korallenriffen als Ressource abhängig sind, katastrophal auswirken. Ein weltweiter Rückgang der Riffsysteme hätte erhebliche Folgen für die Biodiversität der Meere, die Fischerei als wichtigem Wirtschaftszweig und vieles andere mehr.

Vor etwa 10 Jahren wurden mehrere Programme zur Kartierung der weltweiten Korallenriffe und ihrer Ausdehnung auf den Weg gebracht. Dies war als erster Schritt hin zu einem besseren Verständnis der geografischen Eigenschaften dieser Riffe gedacht. Außerdem wollte man die Möglichkeiten eines Management der Riffe als Ressourcen ausloten (siehe „Millennium Coral Reef Mapping“). Schon zu Beginn der Initiativen waren sich die Wissenschaftler über mehrere Fakten im Klaren: 1) Es mangelte an präzisen Karten der weltweiten Korallenriffe. 2) Detaillierte Karten der Korallenriffe wären eine wertvolle Hilfe für die Ressourcenmanager vor Ort. 3) Eine detaillierte Kartierung vieler Riffsysteme wäre aufgrund von deren Abgelegenheit schwierig oder gar nicht möglich.

Die Daten über Korallenriffe stammten zum größten Teil von bewährten Fernerkundungssystemen wie dem Satelliten Landsat7 und dem SeaWiFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor). Aber die Wissenschaftlerteams und Ressourcenmanager erkannten sehr bald, dass es zu vielen abgelegenen Meeresregionen nur wenig detailliertes Bildmaterial gab. Die NASA unterstützte die Kartierung der Korallenriffe mittels diverser bildgebender Sensoren durch Partnerschaften mit mehreren Organisationen, darunter WCMC und ICRAN (World Conservation Monitoring Centre und International Coral Reef Action Network), die beide zum UNEP (United Nations Environment Programme – Umweltprogramm der Vereinten Nationen) gehören, sowie ICLARM (International Center for Living Aquatic Resources Management) und ReefBase.

Auch die Aufnahmen von Astronauten erwiesen sich dabei als wertvoller Beitrag, denn die Auflösung war besser als bei verschiedenen anderen Fernerkundungsbilddaten, die Bildausschnitte waren in der Regel wolkenfrei und sie zeigten auch Regionen, die von Fernerkundungsplattformen bis dahin nicht erfasst worden waren. Die Astronauten konzentrierten sich bei ihren Flügen über die Weiten der Ozeane bewusst auf besonders schöne Riffgebiete. Zwar gehören ihre Aufnahmen nicht zu den primären Quellen von Fernerkundungsdaten, doch ihre Bilder von Korallenriffen in entlegenen Teilen der Weltmeere sind trotzdem eine wertvolle Informationsquelle, die in globale Datenbanken zur Kartierung der Riffsysteme und zur Beobachtung ihrer Veränderungen Eingang fand. Für die Riffmanager vor Ort sind solche Daten von größter Bedeutung.

Heute nehmen die Astronauten der ISS routinemäßig hochauflösende (5–6 m) Digitalbilder der weltweiten Korallenriffe auf. Laut einer Studie von Richard Stumpf von der NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA) aus dem Jahr 2003 verwendete die NOAA diese Bilder zur Bestimmung von Wassertiefen. In weiteren gemeinsamen Projekten wurde die Bedeutung des Raummaßstabs der Bilder für die Bestimmung geografischer Parameter von Atollen untersucht, wie Serge Andréfouët vom Institute for Marine Remote Sensing der University of South Florida, USA, im Jahr 2003 berichtete. Und laut einer Publikation aus dem Jahr 2002 von Jean-Pascal Quod der IFRECOR (Initiative Française pour les Récifs Coralliens) nutzen Wissenschaftler die hochauflösenden Fotos der Astronauten zur Planung von Taucherkundungen und anderen Managementmaßnahmen.

Fotos von Korallenriffen, aufgenommen aus der ISS, sind mittlerweile ein etablierter Beitrag zur weltweiten Bilddatenbank von Korallenriffen und unterstützen die Küstenanrainer beim Management der Korallenriffe vor ihrer Haustür. Künftig sind auch von weiteren Sensorsystemen auf der ISS, beispielsweise HREP-HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean) und ISERV (International Space Station SERVIR Environmental Research and Visualization System) wichtige Daten zur Kartierung der Korallenriffe zu erwarten.



*Îles Glorieuses (Îles Eparses-Archipel, Indischer Ozean). Die Inseln sind als wichtige Eiablagegebiete für Meeresschildkröten und Brutgebiete für Seevögel geschützt. (ISS002-E-6913)*

Das digitale Foto in diesem Artikel stammt von der ISS und zeigt Details der Korallenriffe um die Îles Glorieuses. Es diente als Basiskarte für die genaue Feldkartierung der Riffzonen, ihrer Geomorphologie und Ökologie durch die ARVAM (Agence pour la Recherche et la Valorisation Marines mit Sitz auf Réunion) und ihre Partner. Die Karten kamen bei der biologischen Bestandsaufnahme und den Untersuchungen zur Gesundheit der Korallenriffe gemäß etablierter internationaler Protokolle zum Einsatz (Global Coral Reef Monitoring Network und Reef Check). Dank ihrer hohen räumlichen Auflösung (ca. 5 m pro Pixel) und Detailgenauigkeit eignen sich diese Fotos aus der ISS für intensive Feldforschungen dieser Art.

### *Literatur*

S. Andréfouët, J. A. Robinson, C. Hu, G. Feldman, B. Salvat, C. Payri und F.E. Muller-Karger, 2003, Influence of the spatial resolution of SeaWiFS, Landsat 7, SPOT and International Space Station data on determination of landscape parameters of Pacific Ocean atolls, *Canadian Journal of Remote Sensing* 29(2): 210–218

J. A. Robinson, G. C. Feldman, N. Kuring, B. Franz, E. Green, M. Noordeloos und R. P. Stumpf, 2000, Data fusion in coral reef mapping: working at multiple scales with SeaWiFS and astronaut photography, *Proceedings of the 6th International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, Band 2, S. 473–483  
<http://eol.jsc.nasa.gov/newsletter/DataFusionInCoralReefMapping/>

M. D. Spalding, C. Ravilious und E. P. Green, *World Atlas of Coral Reefs*, University of California Press, Berkeley

R. P. Stumpf, K. Holderied, J. A. Robinson, G. Feldman und N. Kuring, 2003, Mapping water depths in clear water from space, *Coastal Zone 03*, Baltimore, Maryland, 13.–17. Juli 2003  
<http://eol.jsc.nasa.gov/newsletter/CoastalZone/default.htm>

D. Bryant, L. Burke, J. McManus und M. Spalding, 1998, *Reefs at Risk: A map-based indicator of threats to the world's coral reefs*, World Resources Institute, Washington, D.C.  
<http://wri.igc.org/reefsatrisk/reefrisk.html>

S. Andréfouët und J. A. Robinson, 2003, The use of Space Shuttle images to improve cloud detection in tropical reef environment, *International Journal of Remote Sensing* 24: 143–149

# ISSAC beobachtet Überschwemmung in Norddakota von der ISS aus

---

*William L. Stefanov*

*Science Applications, Research and Development Department, Jacobs*

Fragt man einen Geologen oder Ökologen nach der Fernerkundung der Erde – also nach dem Sammeln von Daten über Materialien oder Prozesse aus der Ferne, berührungsfrei und ohne Entnahme von Proben –, so denkt dieser höchstwahrscheinlich an Satelliten wie Landsat oder an Sensorsysteme wie ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) oder MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) usw.

Sie alle sammeln von Erdumlaufbahnen aus Daten über Landmassen, Ozeane und die Atmosphäre. Seit den frühen 1970er Jahren war die Fernerkundung der Erde die Domäne von Satelliten auf polaren, sonnensynchronen Umlaufbahnen. Seit die Internationale Raumstation jedoch mit neuen Fernerkundungssystemen ausgestattet wird, ändert sich diese Situation.

Eines der ersten dieser neuen Systeme ist ISSAC (International Space Station Agricultural Camera). ISSAC wurde von einer Fakultät der Universität von Norddakota, USA, und ihren Studenten entwickelt. Hauptzweck ist die Erfassung von Bilddaten für die Landwirtschaft und damit zusammenhängende Forschungsprojekte im oberen Mittleren Westen der USA. Landwirte von heute nutzen Daten einer Vielzahl von Fernerkundungssatelliten, um sich über Wettersysteme und Klimamuster zu informieren und den Zustand ihrer Feldfrüchte zu überwachen. ISSAC soll in der Wachstumsaison die Ackerbaugebiete und andere Landflächen in den Bundesstaaten des Mittleren Westens aufnehmen und damit als weitere Informationsquelle für Landwirte und die landwirtschaftliche Forschung dienen.

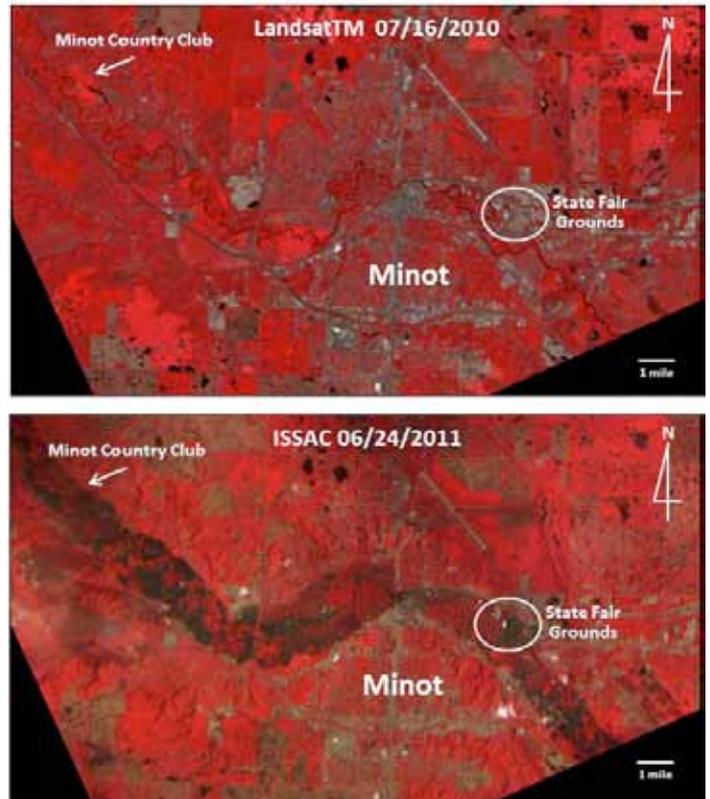
Im Gegensatz zu den bereits bekannten Fotos, die die Astronauten aus der ISS im Rahmen des Programms Crew Earth Observations mit digitalen Handkameras aufnahmen, werden die Bilder von ISSAC Ähnlichkeit mit den multispektralen Daten des ASTER-Sensors an Bord des NASA-Satelliten Terra haben. Darüber hinaus soll ISSAC auf der WOLF-Plattform (Window Observational Research Facility) installiert werden und funktioniert unabhängig von der ISS-Besatzung.

Das Sensorsystem arbeitet mit zwei digitalen Fotokameras, die mithilfe verschiedener Filter Einzelbilder im sichtbaren Grün- und Rotspektrum sowie im Nahinfrarotspektrum der elektromagnetischen Wellenlängenbereiche aufnehmen. Die Einzelbilder werden zu einem einzigen, multispektralen Bild mit drei Spektralbändern zusammengesetzt. Dank dieser Kombinierbarkeit verschiedener Wellenlängen eignet sich ISSAC besonders gut zur Unterscheidung verschiedener Vegetationstypen und zur Identifikation von Veränderungen der Pflanzendecke und ihres Zustands. Dies sind zwei wesentliche Parameter für landwirtschaftliche Forschungs- und Überwachungsprojekte.

Außerdem können mit ISSAC auch Aufnahmen von Naturereignissen bzw. Naturkatastrophen angefertigt und von der NASA für humanitäre Zwecke verwendet werden. Schon bald nach der Inbetriebnahme bewies ISSAC mit Aufnahmen der Überschwemmung am Souris River in der Gegend von Minot, Norddakota, am 24. Juni 2011 seine Eignung für diesen Zweck. Da ISSAC ähnliche Wellenlängen nutzt wie Landsat, konnten die Wissenschaftler die ISSAC-Aufnahmen problemlos mit früheren Landsat-Daten des Souris-Tals vergleichen und das Ausmaß der Überschwemmung in und um Minot genau erkennen.

Seit ISSAC in Betrieb ist, liefert die ISS Aufnahmen, die mit Bilddaten von Satellitensensoren auf polaren Umlaufbahnen vergleichbar sind. Damit ergänzt ISSAC die herkömmlichen Erdbeobachtungsdaten von Satelliten auf polaren Umlaufbahnen in idealer Weise, denn das System erfasst Bilder zu unterschiedlichen Tages- und Nachtzeiten und mit unterschiedlichen Frequenzen. Dank der neuen, zum Teil innen auf der WORF-Plattform, zum Teil außen an der ISS installierten Fernerkundungssysteme, wie zum Beispiel ISSAC, hat die NASA erheblich an Möglichkeiten zur Beobachtung und Überwachung natürlicher und anthropogener (menschengemachter) Prozesse und Naturereignisse auf der Erde hinzugewonnen.

*Vergleichende Aufnahmen von Minot, Norddakota, und dem Souris-Tal bei normalem Wasserstand (oberes Bild, Daten des Landsat Thematic Mapper) und während der Überschwemmung (unteres Bild, ISSAC-Aufnahme). Beide Bilder wurden so bearbeitet, dass aktiv photosynthetisierende Vegetation in Rot hervorgehoben wird. Überflutete urbane Zonen erscheinen graubraun.*



# Überwachung der Lagune von Venedig von der ISS aus

---

*William L. Stefanov*

*Science Applications, Research and Development Department, Jacobs*

Die italienische Stadt Venedig ist bekannt für ihre Architektur, Geschichte, romantische Atmosphäre und natürlich für die Kanäle, die im Stadtgebiet die Hauptverkehrswege bilden. Die Lagune von Venedig, ein Feuchtgebiet mit 117 Inseln an der Küste der Adria, auf denen die Stadt erbaut wurde, ist mit ihren Kanälen und Brücken gänzlich vom Menschen überprägt. Die Lagune ist aber nicht nur die Lebensgrundlage der Stadt Venedig, sondern auch ein wichtiger Teil der Feuchtgebiete am Mittelmeer, eines Ökosystems, das im Rahmen der Ramsar-Konvention<sup>6</sup>, eines völkerrechtlichen Vertrags zum Schutz von Feuchtgebieten, als schützenswert anerkannt ist.

Wie viele Küstenregionen sinkt die Lagune von Venedig zusammen mit der Stadt Venedig und den ökologisch empfindlichen Feuchtgebieten immer tiefer, so dass die Stadt von Überschwemmungen und die Feuchtgebiete von erheblichen Zerstörungen bedroht sind. Eine genaue Kartierung der Lagune an der Adria ist ein erster wichtiger Schritt, um die Gefährdung von Menschen und Umwelt zu verringern.

2010 weckten Fotos der Lagune, aufgenommen von Astronauten auf der Internationalen Raumstation, die Aufmerksamkeit von Dr. Alessandro Mulazzani, einem Umweltberater und Mitarbeiter beim Projekt „Atlante della laguna“ (Atlas der Lagune) (<http://www.silvенеzia.it/>). Dieser Atlas ist ein Internet-basiertes Geoinformationssystem (GIS) mit einer Fülle an Daten zu Klima, Ökosystem, Hydrologie und zum Einfluss menschlicher Aktivitäten auf die Lagune. Dr. Mulazzani charakterisierte den Wert der hochauflösenden Astronautenfotos für den Atlas folgendermaßen: „Diese Fotos sind für uns sehr nützlich, denn sie zeigen uns die Lagune von Venedig, dieses für Menschen aus aller Welt so interessante Gebiet, in aktuellen Ansichten „

Dr. Mulazzanis Interesse an den Bildern mündete in einer ständigen Zusammenarbeit mit dem CEO-Team (Crew Earth Observations-Team) im Johnson Space Center der NASA und machte die Lagune von Venedig zu einem offiziellen Fotoziel des CEO-Projekts. Anhand aktueller Daten zur Umlaufbahn der ISS kann das CEO-Team genau vorhersagen, wann bestimmte Orte auf der Erde ins Blickfeld der ISS-Besatzung gelangen. Diese „Zielprognosen“ werden dann auf adäquate Lichtverhältnisse, eine nicht zu starke Wolkenbedeckung und die Verfügbarkeit der Besatzung für Fotoaufnahmen hin überprüft. Orte, die diese Prüfungen erfolgreich durchlaufen, werden den Besatzungsmitgliedern der ISS als Fotoziele übermittelt und mit den Kameras an Bord der ISS fotografiert.

Gelungene Aufnahmen der angeforderten Ziele werden katalogisiert und in die Online-Datenbank „Gateway to Astronaut Photography of Earth“ eingepflegt. Danach stehen sie der Öffentlichkeit in aller Welt frei zur Verfügung. Für die formelle Zusammenarbeit an Projekten wie der fotografischen Dokumentation der Lagune von Venedig können Benachrichtigungen über neue Bilder auch an andere Forscher gesendet werden.

Die Bilder, die die Besatzung der ISS mit digitalen Handkameras aufnimmt, schließen zeitliche Lücken in den Serien von Satellitenaufnahmen. Außerdem zeigen sie die Ansichten aus anderen Perspektiven und mit anderen Bodenauflösungen.

6. Die Ramsar-Konvention, ein völkerrechtlicher Vertrag, wurde 1971 in der iranischen Stadt Ramsar geschlossen. Ziele sind der Schutz und die nachhaltige Nutzung der Feuchtgebiete auf den Territorien der Mitgliedsstaaten. 1989 wurde die Lagune von Venedig im Sinne der Ramsar-Konvention als schutzwürdig anerkannt.

Dieses breite Spektrum an Möglichkeiten unterstreicht die besondere Stärke der ISS als Fernerkundungsplattform: Die Besatzung ist in der Lage, die Fernerkundungsprojekte herkömmlicher, autonomer Systeme durch ihre Aufnahmen in einzigartiger Weise zu ergänzen. Im Fall der Lagune von Venedig kann das menschliche Auge mit seinem Blick für unerwartete Gelegenheiten zur Sammlung von Bildinformationen vielleicht sogar dazu beitragen, das Feuchtgebiet auch für kommende Generationen zu bewahren.



*Bildunterschrift 1. Bildschirm aus dem Atlas der Lagune mit dem georeferenzierten Astronautenfoto ISS023-E-13766. Ein Teil des Kanalsystems wurde als zusätzliche Bildebene in hellblauer Farbe eingefügt. Das Grundbild ist ein orthofotografisches Mosaik, wurde also aus einer Serie geometrisch korrigierter Bilder generiert. Die angegebene Website steht zurzeit nur in italienischer Sprache zur Verfügung. (<http://www.silvenezia.it/webgis/map.phtml?config=baseorto>)*

# HREP-HICO: nie da gewesene Bilder von den Küstenregionen der Erde

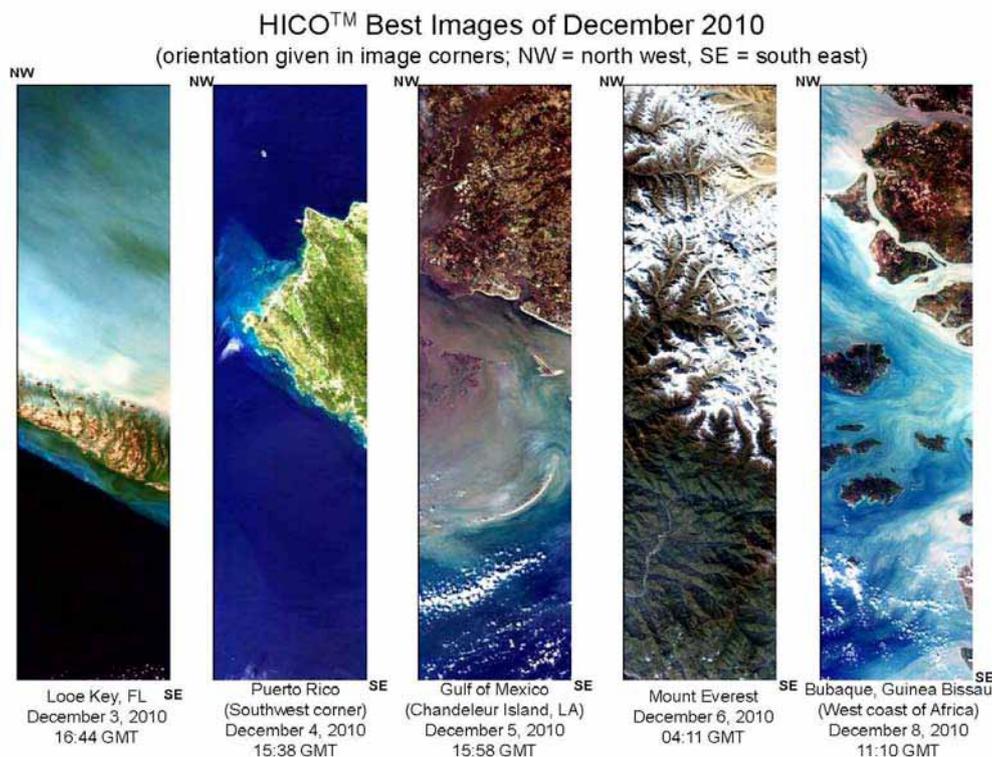
Arun Joshi, International Space Station Program Science Office

Johnson Space Center der NASA

Bei der Erderkundung von einem so außergewöhnlichen Standpunkt wie der Internationalen Raumstation mit ihrer niedrigen Umlaufbahn geht es um mehr als nur um die phantastische Aussicht. Das Experiment HREP (HICO and RAIDS Experiment Payload) zum Beispiel, bestehend aus den beiden Instrumenten HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean) und RAIDS (Remote Atmospheric and Ionospheric Detection System), erzeugt noch nie da gewesene Bilder von den Küstenregionen der Erde.

HICO ist ein abbildendes Spektrometer, installiert an der Außenplattform des japanischen Labormoduls Kibo. Von seinen Bilddaten erhofft man sich ein besseres Verständnis von Küsten- und anderen Regionen unseres Planeten.

Warum ist das von Bedeutung? Küstengewässer sind eine wichtige Schnittstelle für lokale und globale ökonomische Entwicklungen und die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen. In Küstenregionen liegen viele der größten urbanen Zentren der Welt samt ihrer Industriegebiete, Häfen und Freizeiteinrichtungen. In Küstenregionen liegen aber auch wichtige Ökosysteme, die für die Fischereiwirtschaft und den Schutz der Küstenlinien unverzichtbar sind.



Die obige Bildfolge zeigt die besten HICO-Aufnahmen vom Dezember 2010 mit Detailangaben zu den einzelnen Bildern. (Bild mit freundlicher Genehmigung von NASA)

Das HREP-HICO-Spektrometer erfasst die Wellenlängen des sichtbaren Lichts sowie des Nahinfrarotspektrums und ist auf die Umweltcharakterisierung von Küstengebieten und die Kartierung geophysikalischer Merkmale der Erde ausgelegt. Dazu Mike Corson, Ph.D. und Forschungsleiter des HREP-HICO-Projekts am Naval Research Laboratory in Washington, D.C.: „Zur Umweltcharakterisierung von Küstengebieten gehört die Kartierung der Wassertiefen in Küstennähe, der Wasserklarheit, der organischen und anorganischen im Wasser gelösten Stoffe und Schwebstoffe sowie der Bodenmerkmale. Solche Karten sind wichtig für die US Navy und das Marine Corps, die in Küstengebieten operieren.“

Das Payload Operations and Integration Center im Marshall Space Flight Center in Huntsville, Alabama (USA), ist für den Betrieb des HREP-HICO zuständig. Abgesehen von der Montage an der ISS mithilfe eines Roboterarms für Außenbordeinsätze und der künftig irgendwann anstehenden Demontage funktioniert die Datenerfassung mit HREP-HICO automatisch, so dass die Besatzung nicht eingreifen braucht.

Bilder der Meere sind jedoch schwieriger aufzunehmen, als man denkt. Als erstes abbildendes Spektrometer im Weltraum, das die Küstengebiete der Weltmeere dokumentieren soll, muss HREP-HICO die gewaltige Ausdehnung der weltweiten Küstenlinien, die komplexen Strukturen der Ozeane, die wechselnden Wetterbedingungen und den Sonnenstand berücksichtigen. Alle diese Faktoren können die Sicht auf die Meeresoberfläche und den Meeresboden beeinträchtigen – und im schlimmsten Fall wertlose Bilder ohne brauchbaren Informationsgehalt ergeben.

HREP-HICO erfasst das reflektierte Licht in einer großen Bandbreite von Wellenlängen des sichtbaren Lichts sowie des Nahinfrarotspektrums. Anhand dieser Spektraldaten werden die einzelnen Bildpunkte identifiziert und quantifiziert. Dabei lassen sich atmosphärische Effekte und Reflexionen der Wasserflächen im Nachhinein korrigieren. Zusätzlich dient HREP-HICO noch einem weiteren Zweck: Das Instrument evaluiert die Leistungsfähigkeit der MHSI-Technologie (Maritime Hyperspectral Imaging). Damit soll geprüft werden, ob MHSI die Vorgaben des amerikanischen Verteidigungsministeriums erfüllt. Für die MHSI-Technologie gelten bestimmte Anforderungen an die Bildleistung und es werden bestimmte Algorithmen für den Datenabruf verwendet, die von Wissenschaftlern speziell auf die Situation in Küstenregionen zugeschnitten wurden. „Bei MHSI-Algorithmen greift man oft auf biologische oder physikalische Daten zurück, die für den betreffenden Bildausschnitt relevant sind. Das ist wegen der komplizierten Gegebenheiten in Küstenregionen erforderlich“, so Mike Corson.

Das Office of Naval Research sponsert HREP-HICO als einen INP (Innovative Naval Prototype). Das HICO-Prototypprojekt verfolgt zwei Ziele. Erstens soll es belegen, dass es möglich ist, auf der Basis hyperspektraler Aufnahmen aus dem Weltraum Karten der Küstenregionen und ihrer Merkmale zu erstellen. Zweites soll es Möglichkeiten aufzeigen, die Kosten und den Zeitaufwand für den Bau von Nutzlasten für Weltraummissionen zu reduzieren. In diesem Sinne modifizierten die Ingenieure das Design und verwendeten, wo immer möglich, handelsübliche Bauteile. So gelang es ihnen, HREP-HICO zu einem Bruchteil der Kosten zu bauen, die man sonst für weltraumfähige Systeme veranschlagen muss.

Die Ergebnisse des HREP-HICO-Experiments in Form von Daten zu Meerestiefen, Bodenbeschaffenheit, Wasserklarheit und anderen optischen Eigenschaften des Wassers kommen auch anderen Institutionen zugute, die mit marinen Fragestellungen befasst sind, beispielsweise der NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Und auch für andere Zwecke ist HREP-HICO geeignet, beispielsweise zur Erfassung von Bodenbedeckung, Vegetationstypen,

Zustand der Vegetation, Umweltstress und Ernteertrag für die Landwirtschaft oder zur Dokumentation von natürlichen und menschengemachten Katastrophen wie der Ölpest im Golf von Mexiko im Jahr 2010.

HREP-HICO trat seine Reise zur ISS am 10. September 2009 an und wurde an der Außenplattform des japanischen Labormoduls Kibo installiert. Damit ist HREP-HICO die erste US-amerikanische Experimentalnutzlast an der japanischen Außenplattform.

Am 25. September 2009 ging HREP-HICO in Betrieb. Dazu abschließend Mike Corson: „HICO hat während der laufenden Mission inzwischen an die 4.000 Hyperspektralbilder von Küstenregionen weltweit aufgenommen. HICO wird seine Missionen im Rahmen des Pathfinder-Programms fortsetzen und Bilddaten für Dutzende von staatlichen und akademischen Forschungsprojekten bereitstellen.“

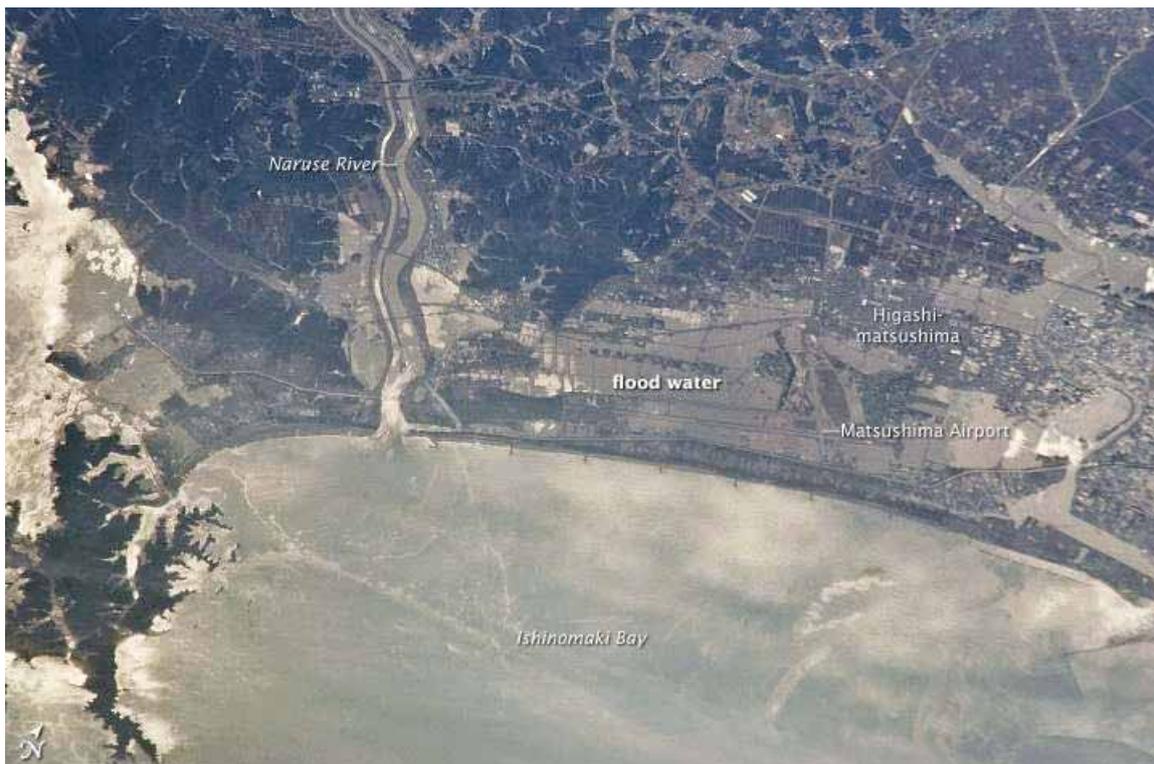
# Bilder der ISS von der Tsunami-Katastrophe in Nordjapan

William L. Stefanov

Science Applications, Research and Development Department, Jacobs

Am 11. März 2011 traf das Tohoku-Erdbeben – mit einer Stärke von 9,0 eins der stärksten Erdbeben seit Beginn der Aufzeichnungen – die Ostküste Japans. Ausgelöst wurde das Beben durch tektonische Verschiebungen zwischen der pazifischen und der nordamerikanischen Platte. Die Folge war ein Tsunami, der einen großen Teil der Ostküste der Insel Honshu überflutete. Außer dem tragischen Tod vieler Menschen sowie ungeheuren Zerstörungen an Gebäuden, der Infrastruktur und in der Landwirtschaft richtete der Tsunami auch im Atomkraftwerk Fukushima Daiichi erhebliche Schäden an. Radioaktive Strahlung trat aus und es besteht die Gefahr langfristiger Folgen für die Umwelt.

Die Besatzung der ISS reagierte schnell und fertigte eine Reihe aussagekräftiger Aufnahmen der vom Tsunami überschwemmten Region an. Das Bild zu diesem Artikel, aufgenommen am 13. März 2011 von einem ISS-Astronauten, zeigt die betroffenen Gebiete an der japanischen Nordküste östlich von Sendai. Auf dem Bild ist der Ort Higashimatsushima aus einer Höhe von 350 km zu sehen. Landwirtschaftliche und Siedlungsflächen sind von schlammigem Wasser überflutet, während die kreuz und quer verlaufenden Rollbahnen des Flughafens Matsushima noch zu erkennen sind.



Schrägaufnahme der japanischen Küste nordöstlich von Sendai nach der Überflutung durch einen Tsunami. Das Foto entstand am 13. März 2011. Reflexionen des Sonnenlichts zeigen riesige Überflutungsflächen sowie Ölflecken und anderes Material an der Wasseroberfläche.

([http://eol.jsc.nasa.gov/EarthObservatory/Tsunami\\_Japan\\_2011\\_glint.htm](http://eol.jsc.nasa.gov/EarthObservatory/Tsunami_Japan_2011_glint.htm))

Die Besatzungsmitglieder der ISS, alles andere als unbeeindruckte Beobachter der Katastrophe, sprachen den Menschen in Japan per Video, Funk und E-Mail ihr tiefstes Mitgefühl aus. Auf einer Pressekonferenz an Bord der ISS am 13. April sagte der Kosmonaut Alexander Samokutjaew: „Diese Tragödie, die alle Menschen auf der Welt erschüttert hat – diese schreckliche Naturkatastrophe, die die Inselnation Japan heimgesucht hat –, sie schmerzt auch die Menschen in Russland zutiefst. Unsere Länder sind benachbart. Eine Tragödie wie diese kann sehr leicht auch uns treffen. Daher wäre es aus unserer Sicht wünschenswert, die Überwachungsmöglichkeiten zu verbessern. Sollte es – was Gott verhüten möge – wieder irgendwo auf der Welt zu Naturkatastrophen kommen, wird die Wissenschaft weltweit vielleicht neue Möglichkeiten haben, das Geschehen zu beobachten.“

Und der Astronaut Ron Garan ergänzte: „Wir möchten nur sagen, dass die Stärke unsere internationalen Partnerschaft darin liegt, dass wir alle zusammen sind und einander unterstützen – in guten und in schweren Zeiten.“ Das Erdbeben vom 11. März beschädigte auch mehrere Ölraffinerien schwer und in einigen davon kam es zu Bränden.

Infolgedessen trat Öl aus und floss in die Bucht von Ishinomaki. Auf dem Foto sieht man, wie das Glitzern des reflektierten Sonnenlichts auf der Meeresoberfläche die Ölflecken betont: Ein Ölfilm glättet die Wasseroberfläche, so dass diese das Sonnenlicht stärker reflektiert. Ölbedeckte Flächen erscheinen auf dem Bild daher heller als ölfreie Stellen. Allerdings können auch andere Phänomene das Wasser heller erscheinen lassen, insbesondere in Ufernähe.

Das Bild unterstreicht zwei Besonderheiten der ISS als Plattform für Erdbeobachtung und Katastrophenhilfe. Zum einen kann die Besatzung die Reflexionen des Sonnenlichts auf Wasserflächen mit ihren digitalen Handkameras häufiger und kontrollierter aufnehmen, als dies mit den meisten Satellitensystemen in der Regel möglich ist. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise stehende Wasserflächen auf Landgebieten besser ausmachen und kartieren und auch Regionen, in denen aufgrund von Verschmutzungen besondere Gefahren für Umwelt und Gesundheit bestehen, sind gegebenenfalls besser zu erkennen. Echtfarbenbilder wie dieses in unterschiedlichen Pixelauflösungen können auch an Helfer auf der Erde gesendet werden und sind unmittelbar verständlich – mit wenig oder ganz ohne Nachbearbeitung.

Zum anderen ist die ISS als Fernerkundungsplattform neben den von der Besatzung zu bedienenden auch mit autonomen Sensorsystemen ausgestattet. Die Daten dieser autonomen Systeme und die Aufnahmen der Besatzung als „menschlichem Faktor“ ergänzen einander bei der Dokumentation von Naturereignissen, Landschaftsmerkmalen und Katastrophen auf der Erde in einzigartiger Weise und verhelfen den so gewonnenen Fernerkundungsdaten zu ungeahnter Aussagekraft.

# SMILES, der Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder

---

*Takuki Sano, International Space Station Science Project Office  
Institute of Space and Astronautical Science, JAXA*

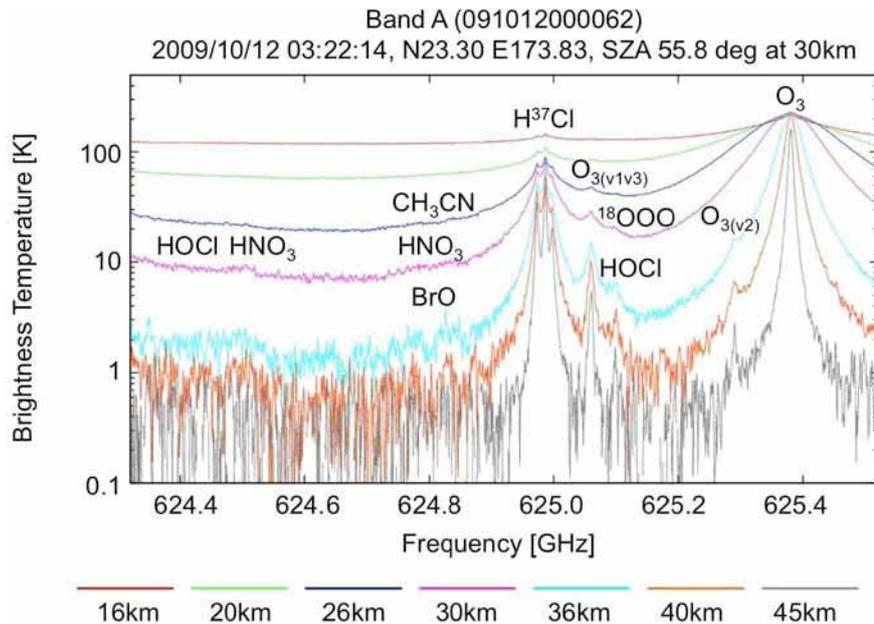
SMILES (Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder), ein supraleitender Submillimeterwellen-Signalgeber, war das erste hochauflösende Supraleitersystem mit mechanischer Kühlung an einer Außenplattform der ISS und diente zur Messung atmosphärischer Spurengase in der Stratosphäre und der Mesosphäre. Sechs Monate lang sammelte SMILES hochwertige Beobachtungsdaten. Dann fiel das Instrument aus. Die Analyse der Daten ist jedoch noch immer in Arbeit und belegt die überragende Leistungsfähigkeit von SMILES. Man erwartet von den Daten eine Fülle neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse.

Das wissenschaftliche Hauptziel der SMILES-Mission war die Untersuchung der Ozonschicht in der Stratosphäre, ihrer Stabilität und Regeneration. Einige atmosphärische Rechenmodelle lassen darauf schließen, dass sich die Ozonschicht bis Mitte des 21. Jh. weltweit regenerieren und wieder den Zustand der Zeit vor 1980 erreichen wird. Aber die Berechnungen zur Entwicklung der Ozonschicht sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, insbesondere im Hinblick auf das Brombudget und die chemischen Prozesse unter Beteiligung von anorganischem Chlor. Dazu kommt, dass die Abkühlung der Stratosphäre – ausgelöst durch die Zunahme an Treibhausgasen in der Troposphäre – der Erholung und Stabilität der Ozonschicht entgegenwirken könnte. Die SMILES-Mission sollte durch die detaillierte Untersuchung der Halogenchemie im Zusammenhang mit den Abbauprozessen der Ozonschicht zu einer Klärung dieser Fragen beitragen.

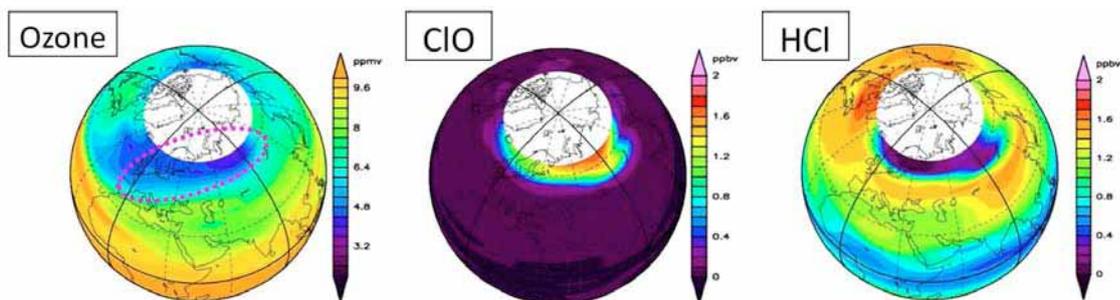
SMILES trat seine Reise zur Internationalen Raumstation am 11. September 2009 mit dem Raumtransporter Kounotori 1 an Bord der Trägerrakete H-IIB vom Tanegashima Space Center in Japan aus an. Am 25. September wurde SMILES an der Außenplattform des japanischen Labormoduls Kibo installiert und durchlief eine Reihe kritischer Bordtests. Am 12. Oktober nahm SMILES seine Mission, die kontinuierliche Beobachtung der Erdatmosphäre, offiziell auf und blieb danach etwa sechs Monate lang in Betrieb, bis am 21. April 2010 ein Bauteil des Instruments ausfiel.

SMILES erfasste die schwache Strahlung atmosphärischer Spurengase im Submillimeterbereich, also bei Wellenlängen von 0,46 bis 0,48 mm (entspricht einer Frequenz von 624–650 Gigahertz). Berechnet man die Stärke der Spektrallinien verschiedener Molekularspezies, lässt sich daraus auf die Häufigkeit dieser Spezies schließen.

Eine Momentaufnahme der weltweiten Verbreitung atmosphärischer Spurengase, generiert aus SMILES-Beobachtungsdaten, zeigt den Rückgang der Ozonschicht und die damit zusammenhängenden Veränderungen in der Konzentration von Chlorverbindungen um den Nordpol. Im Winter 2010 verstärkten sich die planetaren Wellen in der Stratosphäre und führten zu einer plötzlichen stratosphärischen Erwärmung in den hohen Breiten. Der Temperaturanstieg betrug 40 °C innerhalb nur weniger Tage. In dieser Zeit lief ein heterogener chemischer Prozess ab, der die Konzentration an Chlorwasserstoffgas (HCL) im Polarwirbel zurückgehen ließ. Gleichzeitig kam es durch die Sonneneinstrahlung außerhalb der Polarnachtregion zu verstärkten chemischen Reaktionen des Chlors, was in der betroffenen Region zu einem Anstieg des Chlormonoxids (ClO) führte. Infolgedessen kam es dort zu einer Schädigung der Ozonschicht. SMILES konnte solche Phänomene mit hoher Auflösung in mehreren Regionen gleichzeitig erfassen.



*Beispiel für ein von SMILES erfasstes Spektrum. Zu Vergleichszwecken mit Spektren bei anderen Tangentenhöhen sind die Basislinien der einzelnen Spektren vertikal verschoben. Das Rauschen der Spektren liegt bei allen Tangentenhöhen bei etwa 0,4 bis 0,6 Kelvin. (mit freundlicher Genehmigung von Fujitsu FIP)*



*ClO und HCl bewirken die Zerstörung der Ozonschicht (Bilddaten vom 23. Januar 2010). Man erkennt die hohe ClO-Konzentration (siehe Diagramm „ClO“). In der Region mit hoher ClO-Konzentration kommt es zu O<sub>3</sub>-Abbau (siehe Diagramm „Ozon“). Die Region mit geringer HCl-Konzentration entspricht dem Polarwirbel (siehe Diagramm „HCl“). (mit freundlicher Genehmigung der Universität von Kyoto)*

In den Helligkeitstemperaturspektren, generiert aus SMILES-Beobachtungsdaten, erkennt man stark ausgeprägte Spektrallinien für Ozon und Chlorwasserstoff sowie weitere kleinere Peaks für Hypochlorsäure (HOCl), Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>), Bromoxid (BrO) und Ozonisotopen. Das Rauschen der Helligkeitstemperaturen liegt bei etwa 0,4 Kelvin und damit um mindestens eine Dezimalstelle niedriger als bei anderen, vergleichbaren Instrumenten im Weltraum.

In der Anfangsphase der Arbeiten an SMILES wurden die Spektrometerparameter festgelegt, und zwar auf der Basis spektroskopischer Werte in der damals aktuellen Literatur. Die außerordentlich hohe spektroskopische Leistung von SMILES führte zu einer Neubewertung der bekannten atmosphärischen Daten in der Wissenschaft und regte die Entwicklung weiterer atmosphärischer Studien zum Test neuer Parameter an.

SMILES wurde erfolgreich gestartet und generierte atmosphärische Beobachtungsdaten in hoher spektraler Auflösung. Leider fiel das Instrument schon nach sechs Monaten aus, aber die gewonnenen Beobachtungsdaten unterstreichen seine außerordentliche Leistungsfähigkeit. Die vorläufigen wissenschaftlichen Ergebnisse erscheinen überzeugend und stimmen mit den Ergebnissen anderer Messungen im Weltraum überein. Man erwartet, in den Daten, die SMILES in seinem sechsmonatigen Beobachtungszeitraum sammeln konnte, noch weitere, bislang unerkannte Informationen zu finden. Um die Leistung von SMILES in vollem Umfang würdigen zu können, müssen die gewonnenen Daten in künftigen Studien noch weiter bearbeitet und analysiert werden

# ISS unterstützt Studien zum Klimawandel

---

*Jason Hatton*

*Science and Applications Division*

*International Space Station Utilization and Astronaut Support Department*

*Directorate of Human Spaceflight and Operations*

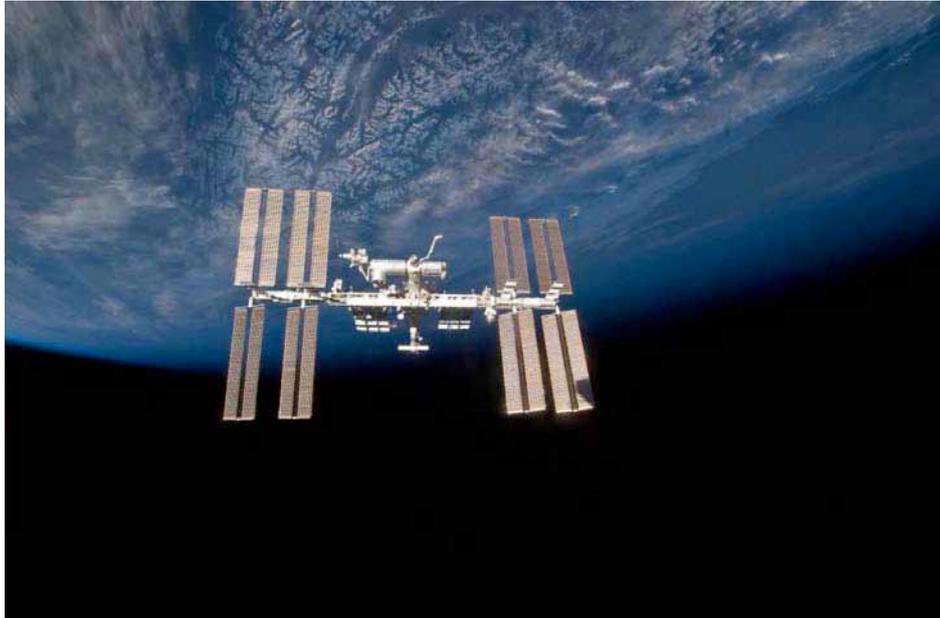
*ESA/ESTEC*

Für viele Astronauten ist der Anblick der Erde, unseres verletzlichen blauen Planeten, von der ISS aus das eindrucklichste Erlebnis ihrer Weltraummission. Immer neue Lichtverhältnisse und der Wechsel der Jahreszeiten lassen den Blick auf die Erde nie langweilig werden. Staubstürme, die über den Südwesten der USA hinwegfegen, Tiefdruckgebiete, die Nordeuropa Regen bringen, ein Taifun, der auf Japan trifft oder nachleuchtende Wolken in hohen Breiten und andere Naturphänomene sind von diesem Außenposten im Weltraum aus wunderbar zu erkennen. Wissenschaftliche Instrumente an Bord einer internationalen Satellitenflotte erkunden, messen und analysieren permanent die Gegebenheiten auf der Erde und liefern Schlüsseldaten zum Verständnis langfristiger Veränderungen im Weltklima. Als Ergänzung zu den Missionen dedizierter Erdbeobachtungssatelliten hat die Europäische Weltraumorganisation ESA eine Aufforderung (Announcement of Opportunity, AO) für neue Experimente zum Klimawandel auf der ISS herausgegeben

Eine Vielzahl natürlicher, physikalischer Prozesse verändert über kürzere und längere Zeiträume hinweg die Atmosphäre, die Meere und die Landoberflächen. In den vergangenen 150 Jahren hat aber auch der Mensch erheblich in die natürliche Umwelt eingegriffen und damit vielfältige Folgeprobleme ausgelöst: steigende Konzentrationen von Treibhausgasen, veränderte Stickstoff- und Phosphorkreisläufe, starke Veränderungen bei der Landnutzung (z. B. Abholzung von Wäldern) usw. Um künftige Umweltentwicklungen abschätzen zu können, muss man die Zusammenhänge zwischen menschengemachten Einflüssen und natürlichen Abläufen verstehen. Gleichzeitig benötigt man ein solches Verständnis, um bei der Nutzung natürlicher Ressourcen durch den Menschen nachhaltige Entwicklungen anzustoßen, Umweltschäden zu minimieren und die Gesellschaft für die Folgen des Klimawandels zu wappnen.

Zurzeit betreiben die ESA und andere internationale Weltraumorganisationen eine Reihe von Erdbeobachtungssatelliten mit diversen Instrumenten, die auf bestimmte Missionsziele ausgelegt sind. Verschiedene Programme unterstützen diese Erdbeobachtungsmissionen, allen voran das Programm „Living Planet“ der ESA, das GMES-Programm (Global Monitoring for Environment and Security – Globale Umwelt- und Sicherheitsüberwachung) als gemeinsame Initiative der EU und der ESA sowie die Climate Change Initiative (CCI – Klimawandelinitiative) der ESA.

Auch an Bord der Internationalen Raumstation finden ständig zahlreiche internationale Forschungsprojekte statt, wobei der Schwerpunkt der europäischen Forschung traditionell auf bio- und naturwissenschaftlichen Studien unter Weltraumbedingungen wie der Mikrogravitation liegt. Aber das Potenzial der ISS geht weit darüber hinaus. Auch für Experimente in Astrophysik, fundamentaler Physik, Geowissenschaft sowie zur Erforschung der Sonne und des Klimawandels ist sie geeignet.



*Die Erde hinter der Internationalen Raumstation im Mai 2010, nach dem Abdocken von der Atlantis aus gesehen (Mission STS-132) (Bild: NASA)*

Im Oktober 2009 startete das Directorate of Human Spaceflight (jetzt Directorate of Human Spaceflight and Operations) der ESA mit Unterstützung des Directorate of Earth Observation Programs einen Ideenaufwurf, um das Interesse der europäischen und internationalen Forschung am Einsatz von Fernerkundungsinstrumenten auf der ISS zur Untersuchung des globalen Wandels auszuloten. 45 Vorschläge mit zahlreichen, vielversprechenden Konzeptionen wurden eingereicht. Damit war das große Interesse an der ISS als Plattform zur Erforschung des Klimawandels erwiesen und mehrere reizvolle Themenbereiche kristallisierten sich heraus. Die eingereichten Vorschläge werden durch Fachleute geprüft. Diese werden mehrere Experimente zur weiteren, genaueren Untersuchung auswählen und zur Durchführung auf der ISS weiterentwickeln. Weitere Informationen dazu finden Sie unter [http://www.esa.int/SPECIALS/HSF\\_Research/SEMPM17TLPG\\_0.html](http://www.esa.int/SPECIALS/HSF_Research/SEMPM17TLPG_0.html).

Die ISS bietet die Möglichkeit, Instrumente zu nutzen und Experimente durchzuführen, ohne dass dafür eine spezielle Satellitenplattform entwickelt werden muss. Ihre Umlaufbahn ist mit einer Neigung von  $51,6^\circ$  und einer Höhe von 350– 400 km anders als die der meisten Erdbeobachtungssatelliten. An ihrer Außenseite können Instrumente an unterschiedlichen Stellen installiert werden, nämlich an der integrierten Gitterstruktur oder an dedizierten Plattformen des europäischen Columbus-Moduls, des japanischen Labormoduls Kibo oder an den Modulen des russischen Segments. Die externe Nutzlastplattform des europäischen Columbus-Moduls (CEPF) hat vier Koppelstellen für Nutzlasten am Modulende, geeignet für Nadir-, Zenith- und Limb-Beobachtungen. Mehrere Instrumente für geowissenschaftliche Studien und die Untersuchung des Klimawandels befinden sich zurzeit in der Entwicklung oder sind bereits auf der ISS

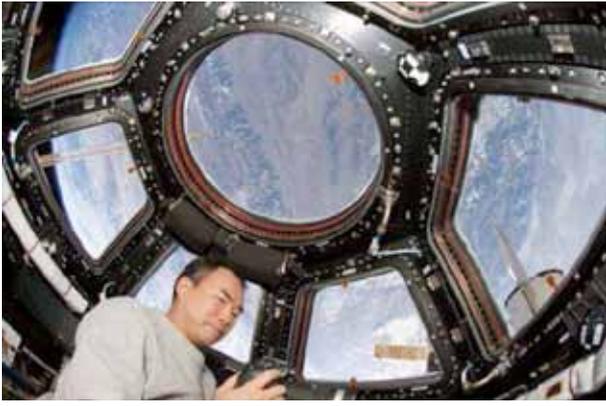


*Nachleuchtende Wolken, fotografiert von der ISS aus im Juli 2008 (Bild: NASA)*

im Einsatz. Die Koppelstelle für Zenithbeobachtungen am CEPF ist zurzeit von SOLAR (Sun Monitoring on the External Payload Facility of Columbus) belegt, einem ESA-Instrument zur Messung der Energiestrahlung der Sonne, eines wichtigen Parameters für die Klimaforschung. 2015 soll ASIM (Atmosphere Space Interactions Monitor) ans Columbus-Modul angekoppelt werden, ein ESA-Instrument zur Untersuchung hochenergetischer optischer und Gammastrahlung, die bei Gewittern auftritt. Das SMILES-Instrument (Superconducting Submillimeter-Wave Limb Sounder) der JAXA an der Außenplattform des japanischen Labormoduls Kibo maß bis zu seinem Ausfall Spurengase in der Stratosphäre, darunter chemische Stoffe, die mit der Ozonschicht reagieren. Ebenfalls an der Außenplattform des japanischen Labormoduls Kibo befindet sich HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean), ein abbildendes Spektrometer der NASA zur Untersuchung von Küstengewässern.

Auch das Innere der ISS mit ihren hochwertigen Aussichtsfenstern bietet Platz für zahlreiche Instrumente: WOLF (Window Observational Research Facility) im Destiny-Modul der NASA nutzt ein dediziertes Nadir-Beobachtungsfenster, während das Cupola-Modul sogar sieben Fenster für Nadir- und Limb-Beobachtungen mit Panoramablick auf die Erde bietet. Eine weitere wichtige Datenquelle sind Fotos der Erde, die die Besatzung im Rahmen des CEO-Projekts (Crew Earth Observations) mit digitalen Handkameras durch die Fenster der ISS aufnimmt.

Im Prinzip bietet die ISS die Möglichkeit, Labor- oder luftgestützte Instrumente mit relativ kurzer Vorlaufzeit zu entwickeln und ins All zu bringen. Außerdem können die Astronauten im Inneren der ISS ohne spezielle Ausrüstung in fast normaler Umgebung arbeiten, Instrumente bedienen und direkt in Experimente eingreifen, indem sie zum Beispiel Konfigurationen ändern oder Filter austauschen.



*Links: Das Cupola-Modul der Internationalen Raumstation bietet einen Panoramablick auf die Erde. Rechts: Diese Nachtaufnahme des Nildeltas und des östlichen Mittelmeeres entstand im November 2010 auf der ISS. (Bilder: NASA)*

# Das Uragan-Programm dokumentiert Katastrophen auf der Erde von der ISS aus

Igor V. Sorokin

Russischer Raumfahrtkonzern RKK Energija (S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia)

An Bord des russischen Segments der ISS wird die Erde im Rahmen des Uragan-Programms in digitalen Bildern erfasst. Naturschätze ebenso wie menschengemachte und Naturkatastrophen werden dokumentiert. Das Uragan-Programm, benannt nach dem russischen Wort für „Hurrikan“, begann, sobald die ISS bewohnbar war, und ist bis heute ein wichtiges Erdbeobachtungsprogramm. Hauptziel ist die Definition von Anforderungen an ein boden- und weltraumgestütztes Katastrophenwarnsystem, das für Hilfeinsätze und zur Schadensbegrenzung genutzt werden soll. Uragan ist die logische Fortsetzung eines Erdbeobachtungsprogramms (also mit anderen Worten eines Crew Earth Observation-Programms), das bereits in den frühen 1970er Jahren in der ehemaligen Sowjetunion auf den Saljut-Raumstationen begann, auf der Raumstation Mir weitergeführt wurde und das Beobachtungen durch Kosmonauten und Instrumente mit einbezog.

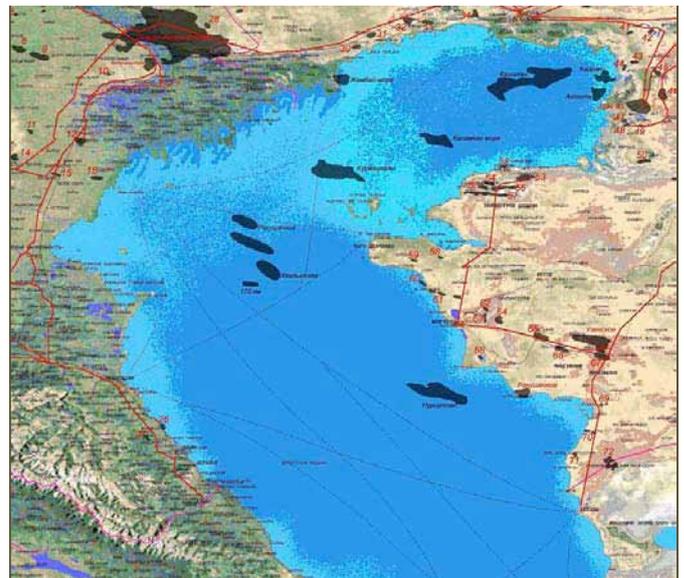


*Kosmonaut Fjodor Jurtschichin (Expedition 15) bei der Arbeit mit dem fotospektrometrischen System FSS, das im Rahmen des Uragan-Programms verwendet wird.*

In den vergangenen Jahrzehnten war die Menschheit mit verschiedenen menschengemachten und Naturkatastrophen konfrontiert – einige davon mit großflächigen Zerstörungen. Das Uragan-Programm dient der Untersuchung solcher Katastrophen wie Erdbeben, Vulkanausbrüche, Überschwemmungen, Brände, Hurrikans, Pipeline-Unfälle und Flugzeugabstürze. Die dabei gewonnenen Daten werden von Experten unterschiedlicher Fachrichtungen, staatlichen Stellen und Wissenschaftlern zur Modellierung von Katastrophenphänomenen und vielem anderem mehr genutzt.

Die ISS ist als Erdbeobachtungsplattform außerordentlich gut geeignet, denn sie bietet die Möglichkeit zum Testen zahlreicher Instrumente, Softwareprogramme und Beobachtungsmethoden, von denen sich einige künftig vielleicht auf unbemannten, robotergestützten Fernerkundungsmissionen einsetzen lassen.

Praxistauglichkeit und Schnelligkeit sind die Grundanforderungen des Uragan-Programms. Anhand der Bilder von der ISS untersuchen staatliche, wissenschaftliche und andere Stellen die Auswirkungen von menschengemachten und Naturkatastrophen. Seit der Einführung von Uragan haben Besatzungsmitglieder der ISS bereits mehrere Katastrophen fotografisch dokumentiert, darunter auch menschengemachte Ölkatastrophen. Bilder des Kaspischen Meeres zum Beispiel zeigen die Folgen der Ölverschmutzung für die Küstenregion. Bei der Analyse der Bilder kristallisierten sich drei besonders stark betroffene Problembereiche heraus: die zu Kasachstan gehörige Nordostküste, die zu Turkmenistan gehörige Südostküste und die Halbinsel Apscheron in Aserbaidschan. An der Nordostküste, auf kasachischem Gebiet, entstanden im Zusammenhang mit den großen Ölvorkommen Wasser-Öl-Seen von wenigen Metern bis zu 12 Kilometern im Durchmesser. Teile dieser Seen sind von Mauern umgeben, die ein Auslaufen des Wasser-Öl-Gemischs und eine Verseuchung der Umwelt verhindern sollen. Aber der Wasserstand im Kaspischen Meer schwankt ständig und starke Winde können die Wellen bis zu 3 m hoch auftürmen. Daher sind Überflutungen im küstennahen Gebiet durchaus wahrscheinlich und es besteht die Gefahr, dass die Mauern ihre Schutzfunktion nicht erfüllen und sich Öl ins Kaspische Meer ergießt.



*Ölverschmutzung im Norden des Kaspischen Meeres  
(basierend auf Daten aus dem Uragan-Programm):  
40 Ölfelder – etwa 10 Prozent der Oberfläche - sind  
von Ölfilmen bedeckt.*

Neben menschengemachten Katastrophen befasst sich das Uragan-Programm auch mit Naturereignissen. Im Jahr 2002 dokumentierte die Besatzung mit ihren Fotos eine Gletscherkatastrophe im Kaukasus und konnte wichtige Informationen dazu bereitstellen. Am 20. September ereignete sich an einem kleinen Gletscher mit dem Namen Kolka in Nordossetien, Russland, unerwartet ein Gletschersturz. Eine gewaltige Eis- und Gerölllawine löste sich, raste ein Tal hinunter, löste weiträumige Zerstörungen aus, kostete viele Menschen das Leben und kam schließlich an einer Höhlung vor einem Felsenkamm zum Stehen.

Das Foto eines Kosmonauten vom 13. August 2002, also etwa einen Monat vor dem Unglück, zeigte den nördlichen Teil des Kasbek-Gebirgsmassivs. Der kleine Kolka-Gletscher im oberen Teil des Genaldon-Flusstales war gut zu erkennen. Nach dem Unglück war der Gletscher vollständig von Steinen bedeckt, die seine Oberfläche dunkel erscheinen ließen. Die Fotos der Kosmonauten zeigten auch den oberen Teil des Flusses Genaldon vor und nach der Katastrophe. Der Gletschersturz war ungewöhnlich heftig: Fast der gesamte Gletscher löste sich auf einen Schlag aus seinem Bett und raste zu Tal. Wissenschaftler aus aller Welt konnten das seltene Ereignis beobachten.

Fotos der ISS-Besatzung zeigten auch den Zustand nach dem Unglück – einen tiefen, leeren Taleinschnitt, den das Gletschereis vorher ganz ausgefüllt hatte. Die Massenmedien publizierten zahlreiche Spekulationen über die Katastrophe, aber erst die präzisen und genauen Bilder aus dem Weltraum erlaubten eine gründliche Analyse und endgültige Bestimmung der Ursachen. Fachleute aus dem geografischen Institut der Russischen Akademie der Wissenschaften entdeckten bei der Untersuchung der Bilder klare Anzeichen für das Einsetzen der Lawinenbewegung. Die Farbe der Eis-Geröll-Mischung sowie Veränderungen in der Gletscherstruktur ließen auf ein Abschmelzen innerer Gletscherschichten schließen. Das dabei entstehende Schmelzwasser fungierte als „Schmierstoff“ für die sich entwickelnde Lawine. Mithilfe durchdachter Überwachungsprogramme hofft man, Katastrophen wie diese künftig besser vorhersagen zu können.



*Gletschersturz des Kolka mit Eis- und Gerölllawine im Kaukasus  
(Bild: Valery Korzun, Mitglied der ISS-Besatzung, Expedition 5)*

Weitere wichtige Ergebnisse erbrachte das Uragan-Programm bei der Beobachtung von Überschwemmungen, Waldbränden, Gletschergebieten, Reservoirs, Seehäfen, Eisbergen und anderen Phänomenen. Künftig sollen zusätzliche Geräte zur Datenerfassung im Mikrowellen-, Infrarot- und Ultraviolettbereich zum Einsatz kommen. Ebenso sollen mathematische Modelle zur Untersuchung von Katastrophenphänomenen entwickelt werden. Im Rahmen des Uragan-Programms wird die ISS-Besatzung weiterhin Bilder von Katastrophen aufnehmen, deren Analyse letztendlich der ganzen Menschheit zugute kommen soll.

Forschungsleiter:

Michail Ju. Beliajew

Russischer Raumfahrtkonzern RKK Energija (S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia)

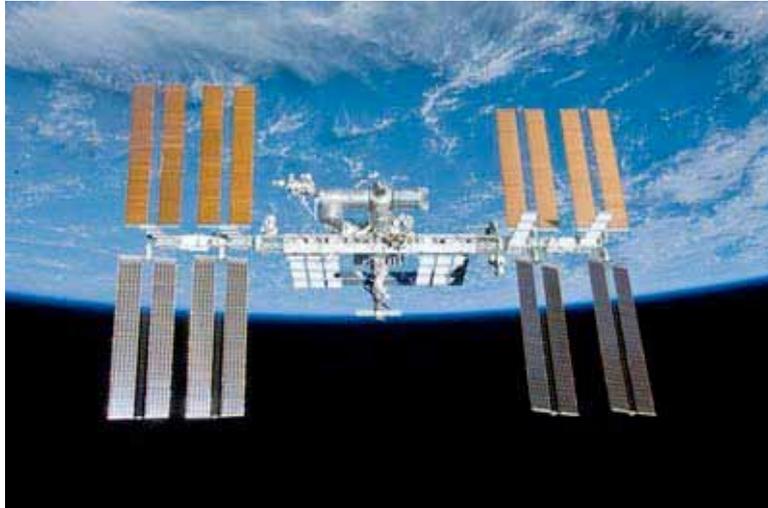
Lev V. Desinow

Geografisches Institut, Russische Akademie der Wissenschaften

# ISS überwacht weltweiten Schiffsverkehr

Europäische Weltraumorganisation ESA

Lässt sich der Schiffsverkehr auf den Weltmeeren von der Internationalen Raumstation auf ihrer Umlaufbahn Hunderte von Kilometern über der Erde aus beobachten? Seit Juni 2010 führt die Europäische Weltraumorganisation ESA in ihrem Columbus-Modul eine entsprechende Machbarkeitsstudie durch.



*Die Internationale Raumstation, vom ablegenden Space Shuttle Atlantis aus gesehen, 23. Mai 2010 (Quelle: NASA-Bild S132E012208)*

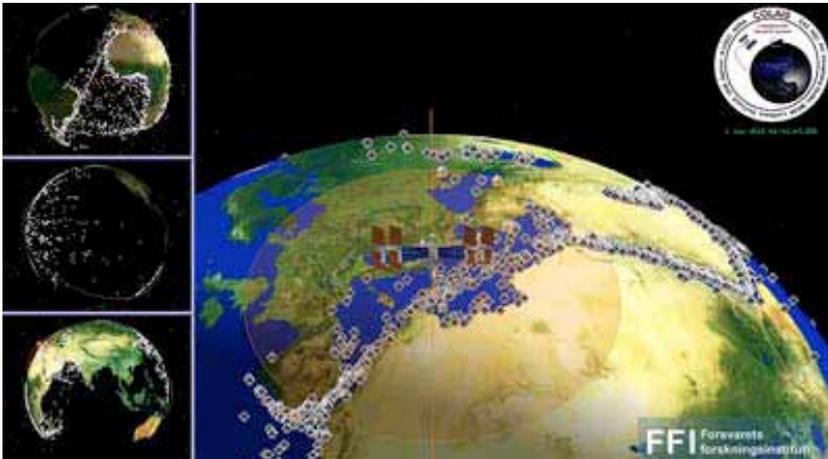
Das getestete Schiffsidentifikationssystem basiert auf dem automatischen Identifikationssystem AIS (Automatic Identification System), dem maritimen Gegenstück zur Flugsicherung im Luftverkehr.

Alle Schiffe auf internationaler Fahrt, sowohl Frachtschiffe ab einer bestimmten Größe als auch Passagierschiffe jeder Größe müssen mit einem AIS-Transponder der Klasse A ausgestattet sein, der kontinuierlich aktuelle Daten – wie Identität, Position, Kurs, Geschwindigkeit, Ladung und sonstige Angaben zu Schiff und Fahrt – an andere Schiffe sowie an Küstenstationen sendet und entsprechende Daten empfängt.

Mithilfe des AIS können Hafenbehörden und Küstenwachen den Schiffsverkehr auf den Meeren beobachten und kontrollieren. Allerdings arbeitet das System mit Ultrakurzwellensignalen (VHF-Signalen), deren horizontale Reichweite auf nur 40 Seemeilen (74 km) beschränkt ist. Daher kann das System zwar in Küstengewässern und für die Kommunikation von Schiff zu Schiff eingesetzt werden, nicht jedoch zur Überwachung des Schiffsverkehrs auf dem offenen Meer. Dort war eine Nachverfolgung einzelner Schiffe bislang nicht möglich. In vertikaler Richtung ist die Reichweite der AIS-Signale jedoch erheblich größer. Sie können sogar von der ISS auf ihrer Erdumlaufbahn empfangen werden, so dass sich diese als ideale Plattform zur Überwachung des weltweiten Schiffsverkehrs vom Weltraum aus geradezu anbietet.

Dieser Gedanke stand Pate für das COLAIS-Experiment (Columbus Automatic Identification System), ein „In Orbit Demonstration“-Projekt im Rahmen des GSTP-Technologieprogramms (General Support Technology Programme) der ESA, bei dessen Umsetzung die Astronauten eine entscheidende Rolle spielten. Denn das Columbus-Modul war ursprünglich nicht mit VHF-Antennen zum Empfang von AIS-Signalen ausgestattet. Diese mussten erst bei

einem Außenbordeinsatz im November 2009 an der Außenseite des Moduls montiert werden. Dazu kamen ein Kontrollcomputer, die so genannte ERNOBox, und ein Empfänger mit der Bezeichnung NORAIS. Beides installierten die Astronauten im Mai 2010 im Columbus-Modul. Die ERNOBox, eine Entwicklung der Astrium GmbH, Deutschland, ist selbst ein „In Orbit Demonstration“-Projekt einer neuen Klasse von Weltraum-Computern. Astrium übernahm die gesamte Systemintegration und steuerte die ERNOBox sowie den GATOR (Grappling Adaptor) zur Befestigung der AIS-Antenne am Columbus-Modul bei. Die Antennen wurde von AMSAT gebaut.



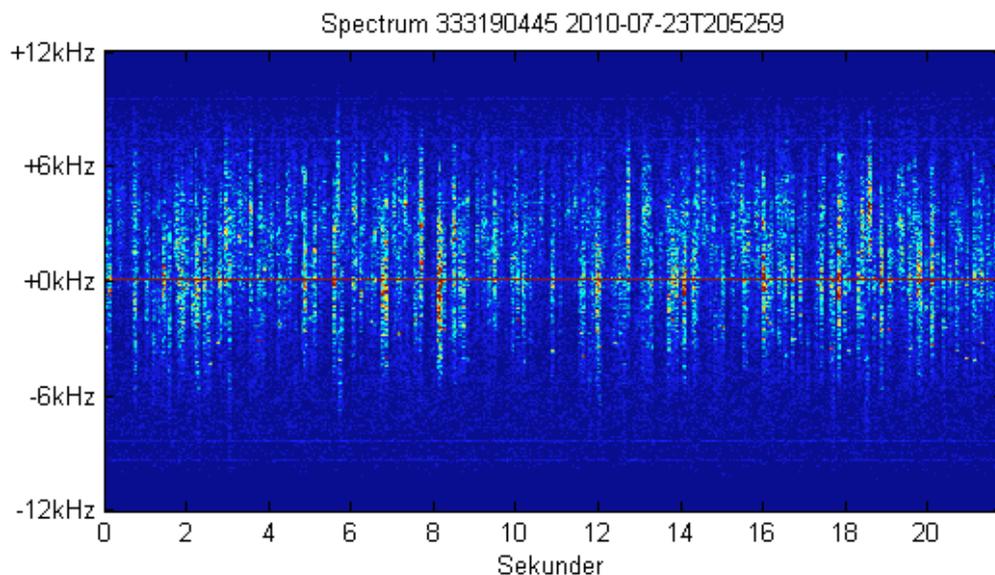
Die Internationale Raumstation umrundet die Erde 15-mal pro Tag. Diese Illustration des COLAIS-Systems mit dem NORAIS-Empfänger zeigt die ISS beim Überfliegen des Mittelmeeres. Ihr Sichtfeld ist rot markiert, die erkannten Schiffe erscheinen als Schiffssymbole und terrestrische AIS-Stationen als Gebäude. Die Daten zeigen die ersten fünf Stunden des 3. Juni 2010. (Quelle: FFI)

#### Den weltweiten Schiffsverkehr auf den Meeren im Blick

Von der Internationalen Raumstation aus lässt sich mit AIS ein Bereich von etwa 68° nördlicher bis 68° südlicher Breite abdecken. AIS besteht aus zwei Antennenbaugruppen, die bei einem Außenbordeinsatz im November 2009 außen am Columbus-Modul angebracht wurden, sowie einem Computer zur Datenübermittlung (ERNOBox) und einem Empfänger (NORAIS) im Columbus-Modul. Die beiden bisherigen Betriebsphasen mit dem NORAIS-Empfänger, bereitgestellt und betrieben vom FFI (Forschungsinstitut des norwegischen Militärs), waren ein großer Erfolg. Die eingehenden Telemetriedaten wurden über das Columbus-Kontrollzentrum der ESA an das N-USOC (Norwegian User Support and Operation Center) in Trondheim, Norwegen, übermittelt. NORAIS empfing praktisch kontinuierlich Daten und funktionierte in allen Betriebsmodi außerordentlich gut. Unter anderem verfügt der NORAIS-Empfänger über einen Testmodus, in dem er Rohdaten empfängt, digitalisiert und zur Erde sendet, wo die Signalqualität analysiert wird. Anhand dieser Analysen wird das System weiter verbessert und optimiert, damit es künftig auch in stark befahrenen Gewässern eingesetzt werden kann, wo die Signale einander überlagern oder nicht ankommen.



Astronaut Randolph Bresnik am 21. November 2009 beim Anbringen der entfalteten AIS-Antenne am Columbus-Modul im Rahmen des Außenbordeinsatzes EVA 2 der Atlantis-Mission. Die Antenne dient im Experiment zur Nachverfolgung der VHF-Signale von Schiffen auf See. (Quelle: NASA)



*22 Sekunden Testdaten im Spektrum-Zeit-Diagramm. Meldungen erscheinen als vertikale Linien. Aus den Daten lassen sich etwa 150 Meldungen decodieren. (Quelle: FFI)*

Bei diesen Tests untersucht man die Signalumgebung und bewertet die Leistungsfähigkeit neuartiger Empfängertechnologien auf der Erde. Mehrere Hundert Datensätze wurde bereits gesammelt und mit neuen potenziellen Algorithmen für die nächste Empfänger-Generation verarbeitet.

Die Analyseergebnisse sind außerordentlich vielversprechend. An guten Tagen gehen etwa 400.000 Positionsmeldungen von über 22.000 Schiffen mit unterschiedlichen MMSI-Nummern (Maritime Mobile Service Identity) ein. Laut einer zusammenfassenden Auswertung aus dem Oktober 2011 lagen bis dahin bereits mehr als 110 Millionen Meldungen von über 82.000 unterschiedlichen Schiffen vor.

Zusätzlich zu den ursprünglichen technischen Fragestellungen wurden auch operative Experimente in das Projekt mit aufgenommen. Beispielsweise sehen die Anforderungen des SAT-AIS-Projekts, definiert von der ESA in Zusammenarbeit mit den tatsächlichen Nutzern, eine Datenübertragung in nahezu Echtzeit vor. Nach einem Upgrade der erdgebundenen Systeme im N-USOC belegen die Fast-Echtzeit-Daten aus 10 Tagen, dass 80 Prozent der Empfangsdaten mit einer Latenz von deutlich unter 1 Stunde über das Kommunikationsnetzwerk der ISS zugestellt werden konnten. Seit November 2011 ist die Datenübertragung in nahezu Echtzeit bereits Routine.

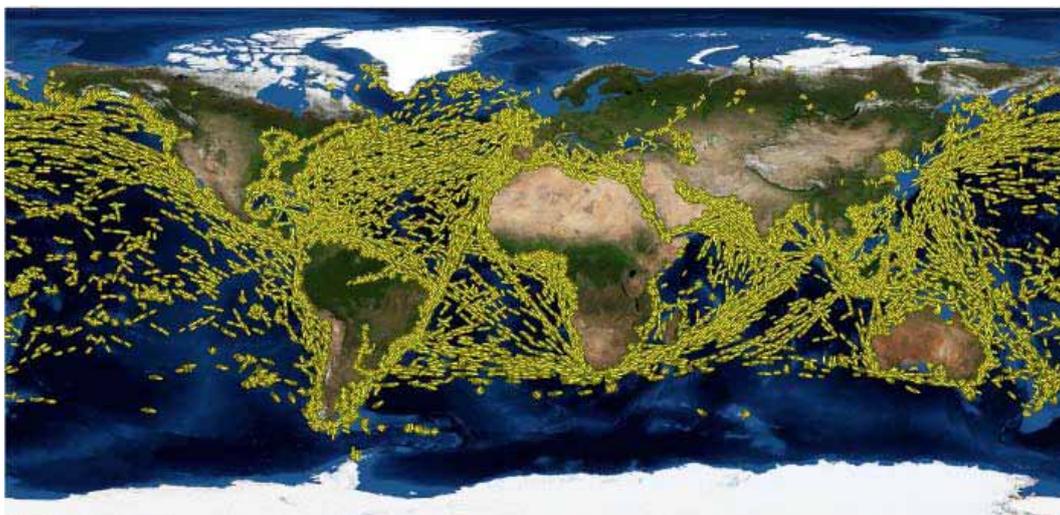
Zurzeit wird eine neue Version des Decodieralgorithmus erprobt, entwickelt von Kongsberg Seatex im Rahmen eines Technologieentwicklungsvertrags mit der ESA. Bei der Entwicklung des Algorithmus konnte sich Kongsberg Seatex auf die Analysen der Testdaten sowie auf laufende Arbeiten an anderen ESA-Projekten stützen. Im Januar 2011 wurde die Firmware über das Kommunikationsnetzwerk der ISS zum NORAIS-Empfänger hochgeladen, verifiziert und aktiviert. Wie die vorläufigen Ergebnisse zeigen, stieg die Leistung bei der Decodierung von Meldungen aus stark befahrenen Gewässern, für die die ESA eine leistungsstärkere Überwachung gefordert hatte, um den Faktor 1,5 bis 2,0.

Die Arbeit an der Verbesserung der Algorithmen geht weiter. Für Mai 2012 ist ein zweites Upgrade des NORAIS-Empfänger geplant. Die Ergebnisse der Entwicklungsarbeiten sollen in die Konzeption und Entwicklung eines weltraumgestützten AIS-Systems und in die Leistungsoptimierung des AIS-Empfängers auf der ISS einfließen.

Außerdem ließe sich die Überwachung des Schiffsverkehrs durch Integration der AIS-Daten mit anderen Satellitendaten, beispielsweise von Fernerkundungssatelliten, erheblich verbessern, was der Sicherheit auf hoher See sehr zugute käme. Eine Nutzlast für den norwegischen Satelliten AISSat-1, der im Juli 2010 in eine polnahe Umlaufbahn gebracht wurde, liefert bereits Daten von vergleichbar guter Qualität für den hohen Norden. Der NORAIS-Empfänger arbeitet in einem Seefunkband von 156 bis 163 Megahertz. Das ist in seiner Software so festgelegt. Außerdem wurde der NORAIS-Empfänger bereits auf Frequenzen eingestellt, die für ein weltraumgestütztes AIS-System infrage kommen, und im Oktober 2010 fanden unter der Leitung der Küstenwache der USA bereits internationale Tests der beiden vorgeschlagenen Frequenzen statt.

Mit den Tests von mehr als den beiden aktuellen AIS-Frequenzen soll in erster Linie der praktische Nutzen neuer Seefunkkanäle für das weltraumgestützte AIS-System belegt werden. Darüber hinaus kann das gesamte Kanalspektrum im VHF-Seefunkband bei dieser Konfiguration hinsichtlich Nutzungsintensität und Interferenzen charakterisiert werden. Die Softwareimplementierung ermöglicht die Optimierung der Empfängereinstellungen im Weltraum sowie das Hochladen neuer Signalverarbeitungsalgorithmen.

Das Schiffsidentifikationssystem VIS (Vessel Identification System) dürfte vielen europäischen Stellen große Vorteile bringen, insbesondere bei der Strafverfolgung, bei Kampagnen zur Fischereikontrolle, bei der Kontrolle von Seegrenzen sowie bei Belangen der maritimen Sicherheit, was Erhebungen zur Verschmutzung der Meere, Such- und Rettungseinsätze sowie den Kampf gegen die Piraterie umfasst. Mehrere Dienstleister haben bereits um Zugriff auf die VIS-Daten ersucht, die kontinuierlich im Columbus-Modul gesammelt werden.



*Positionsmeldungen von Schiffen, empfangen mit dem NORAIS-Empfänger in einem Zeitraum von 24 Stunden am 29. Juni 2010 (Quelle: FFI)*



### Gespräche mit der ISS-Besatzung inspirieren Jugendliche

Jessica Nimon und Camille Alleyne

International Space Station Program Science Office

Johnson Space Center der NASA

Seit das ARISS-Modul (Amateur Radio on the International Space Station) mit dem Space Shuttle Atlantis auf der Mission STS-106 zur ISS gebracht und dort von der ersten Besatzung in Betrieb genommen wurde, wird es regelmäßig für die Kommunikation mit Schulen genutzt. Unterstützt durch Amateurfunkvereine und Amateurfunken konnten die Astronauten und Kosmonauten an Bord der ISS schon mit vielen Menschen sprechen und damit Lehrern, Schülern, Eltern und der Öffentlichkeit beweisen, wie sehr sich der Lerneifer von Schülern und ihr Interesse an Naturwissenschaft und Technologie durch solche Amateurfunkkontakte beflügeln lässt. Ziel des ARISS-Projekts ist es, Schüler für Mathematik und die Naturwissenschaften zu begeistern, indem sie direkt mit Besatzungsmitgliedern sprechen dürfen, die an Bord der ISS leben und arbeiten.

ARISS-Gespräche dauern in der Regel etwa 10 Minuten. In dieser Zeit stellen ausgewählte Schüler auf der Erde eine Reihe im Vorfeld ausgearbeiteter Fragen, die die ISS-Besatzung beantwortet. Als Vorbereitung auf diesen Kontakt befassen sich die Schüler im Unterricht mit der ISS sowie der Funktionsweise von Funkwellen und dem Amateurfunk. Ken Ransom, Projektkoordinator des Amateurfunkprogramms der ISS, betont den pädagogischen Nutzen dieser etwa 50 Funkkontakte pro Jahr: „Das ARISS-Programm soll die Schüler inspirieren und ermutigen, indem es sie direkt anspricht, und es soll Schulen die Chance geben, mit technischen Fachleuten vor Ort zusammenzuarbeiten. Außerdem bringt es ihnen den Weltraum praktisch direkt vor die Haustür.“



*Eine Schülerin spricht im Rahmen einer ARISS-Sitzung mit einem Besatzungsmitglied der Internationalen Raumstation. (Bild mit freundlicher Genehmigung von ARISS)*

ARISS-Funkkontakte sind nur möglich, wenn die ISS bei der Übertragung der Funksignale eine Funkstation auf der Erde überfliegt, die die Signale zwischen der Funkanlage auf der ISS und dem Empfänger auf der Erde weiterleiten kann. Darüber hinaus hängt der Zeitpunkt für Funkkontakte auch von anderen Faktoren ab, beispielsweise vom Wetter und vom Zeitplan der Besatzung. Bei einem Funkkontakt können etwa 18 Fragen besprochen werden, je nach deren Komplexität. Bisher haben bereits über 600 ARISS-Kontakte zwischen der ISS und Schülern in aller Welt stattgefunden.

Wer eine Grundausstattung für den Funkempfang besitzt, kann die Antworten mithören, die die Astronauten bei ARISS-Gesprächen zur Erde funken. Die Funkfrequenz beträgt 145,800 Megahertz. Interessierte, so Ransom, können die Kommunikation gegebenenfalls auch über EchoLink, IRLP (Internet Radio Linking Project), Amateurfunknetzwerke oder das Internet mithören.

Für Schüler, die noch nie über die Erforschung des Weltalls nachgedacht haben, ist ein solcher Amateurfunkkontakt vielleicht ein Aha-Erlebnis und regt sie an, über eine Karriere in der Forschung nachzudenken.

Schulen in den USA, die am ARISS-Projekt teilnehmen möchten, können beim Teaching From Space Office der NASA ein Paket mit Vorschlägen anfordern. Schulen anderswo können sich über die ARISS-Website bewerben. Über die Bewerbungen wird jedes Jahr im Januar bzw. Juli entschieden.

*Die Astronautin Sunita L. Williams, Flugingenieurin der Expeditionen 14 und 15, spricht bei einer ARISS-Sitzung im Swesda-Service modul mit Schülern der Internationalen Schule in Brüssel, Belgien. (NASA-Bild ISS014E18307)*



# Schüler trainieren wie Astronauten

Jessica Nimon, International Space Station Program Science Office  
Johnson Space Center der NASA

Wer an die NASA denkt, der denkt wahrscheinlich an das Space Shuttle, die Internationale Raumstation oder sieht Planeten und Galaxien vor seinem geistigen Auge. „Mission X: Trainiere wie ein Astronaut“ der NASA dagegen befasst sich mit viel näherliegenden Zielen. Mission X richtet sich an ganz normale Schulen in aller Welt und soll die Schüler mit einem Sportprogramm, wie es auch die Astronauten als Training absolvieren, zu sportlicher Betätigung anregen. Schon um die 3.700 Schüler in 40 Städten weltweit machen mit.

Das Projekt ist eine Idee der ISLSWG (International Space Life Science Working Group) und der HRPEO (Human Research Program Education and Outreach) und begann am 18. Januar 2010 in Schulen in den USA. Das Pilotprogramm mit verschiedenen Aktivitäten, didaktischen Modulen und einer interaktiven Website ([www.trainlikean astronaut.org](http://www.trainlikean astronaut.org)) wurde im Rahmen des Human Research Program der NASA finanziert. Es steht in sechs Sprachen und zehn Ländern zur Verfügung – in den USA, den Niederlanden, Italien, Frankreich, Deutschland, Japan, Australien, Kolumbien, Spanien und Großbritannien. Ziel ist es, den Kindern Spaß an Bewegung und gesunder Ernährung zu vermitteln, indem sie wie Astronauten trainieren dürfen.



*Schüler der Daltonbasisschool de Tjalk in Lelystad, Niederlande, bei einer Grundübung von „Trainiere wie ein Astronaut“ (mit freundlicher Genehmigung der ESA)*

Laut Chuck Lloyd, bei der NASA als Programmmanager für das Projekt verantwortlich, fasziniert das Trainingsprogramm der Astronauten die Kinder und regt sie zum aktiven Mitmachen an: „Bei Mission X geht es darum, die Jugend über einen gesunden Lebensstil zu informieren und sie dafür zu begeistern. Hauptziel ist es, sie mit dem Bewegungsprogramm von Mission X zu mehr Bewegung im Alltag zu animieren, indem sie wie Astronauten trainieren.“

Darüber hinaus erfahren die Schüler im Alter von 8 bis 12 Jahren auch etwas über die wissenschaftlichen Hintergründe des Programms, zum Beispiel wie wichtig ausreichend Flüssigkeit, gesunde Knochen und eine ausgewogene Ernährung sind. So werden aus den Kindern „Fit-Explorer“, die motiviert bleiben und Spaß an ihren Fortschritten haben. Außerdem können sie im Blog von Mission X mitverfolgen, was an anderen Schulen abläuft. Im Lauf des Programms protokollierten Fit-Explorer ihre gesammelten Bewegungspunkte und schickten damit eine Zeichentrickfigur namens Flat Charlie, einen Astronauten, online auf den Weg zum Mond. Flat Charlie schaffte es in nur fünf Wochen bis zum Mond – immerhin ein Weg von 384.403 km oder 478 Millionen Schritten – und er läuft noch immer weiter!

Fit-Explorer erfahren, dass Astronauten vor, während und nach einer Mission trainieren und sich durch gesunde Ernährung, Ruhepausen und Sport fit halten, um den harten Bedingungen der Mikrogravitation gewachsen zu sein. Lloyd betont die Wichtigkeit einer solchen gesundheitsbewussten Einstellung für jeden, auch für Menschen, die nicht vorhaben, ins All zu fliegen. „Unsere Jugend muss intelligente Entscheidungen treffen, um ein Gleichgewicht zwischen Arbeit, Spiel und Ruhephasen zu finden und dadurch fit zu bleiben. Es ist überaus wichtig, Kinder, Jugendliche und die Öffentlichkeit im Allgemeinen in dieser Hinsicht zu erziehen, denn nur so werden die arbeitende Bevölkerung und die technischen Vordenker von morgen den Herausforderungen unserer Gesellschaft gewachsen sein.“

In der ersten Projektphase traten die teilnehmenden Schulen innerhalb eines Landes für sechs Wochen in einen freundschaftlichen Wettbewerb miteinander. In der zweiten Phase soll der Wettbewerb „Mission X: Trainiere wie ein Astronaut“ auf mehrere Jahre, mehr Schüler und mehr Länder ausgeweitet werden.

*Schüler der Media Sandro Pertini-Schule  
in Savona, Italien, bei einer Grundübung  
von „Trainiere wie ein Astronaut“  
(mit freundlicher Genehmigung der  
italienischen Raumfahrtorganisation ASI)*



# Europas Raumdroiden-Allianz

---

*Nigel Savage, Ph.D., Head of Education Unit  
Directorate of Human Spaceflight and Operations  
Europäische Weltraumorganisation ESA*

Inspiziert von Videospiele und Science-Fiction-Filmen erwacht auf der Internationalen Raumstation ein Geschwader von „Droiden“ zum Leben – und gehorcht den Befehlen von Schülern.

Im Rahmen des Zero-Robotics-Wettbewerbs der NASA und des MIT (Massachusetts Institute of Technology) gibt die Europäische Weltraumorganisation ESA Schülern der Oberstufe die Möglichkeit, Steuerprogramme für diese „Droiden“ zu schreiben. Dabei handelt es sich um Mini-Robotersatelliten, so genannte SPHERES – ein Akronym für Synchronized Position Hold, Engage, Reorient, Experimental Satellites. Die Volleyball-großen Robotersatelliten sind mit eigener Energieversorgung sowie eigenen Antriebs-, Computer- und Navigationssystemen ausgestattet.

Die Idee zu solchen fernsteuerbaren Minisatelliten geht auf einen experimentierfreudigen MIT-Professor aus den USA zurück, der sich dabei von den Star-Wars-Filmen inspirieren ließ. Auf der ISS sind die Minisatelliten schon seit 2006 zum Testen autonomer Rendezvous- und Andockmanöver im Einsatz.

Und ab sofort können sich auch Schüler aus Europa der Herausforderung stellen und die Droiden für Formationsflüge in der Schwerelosigkeit programmieren. Im Wettbewerb miteinander schreiben Schüler von Schulen aus ESA-Mitgliedsstaaten Programme zur Echtzeitsteuerung der drei SPHERES auf der ISS.

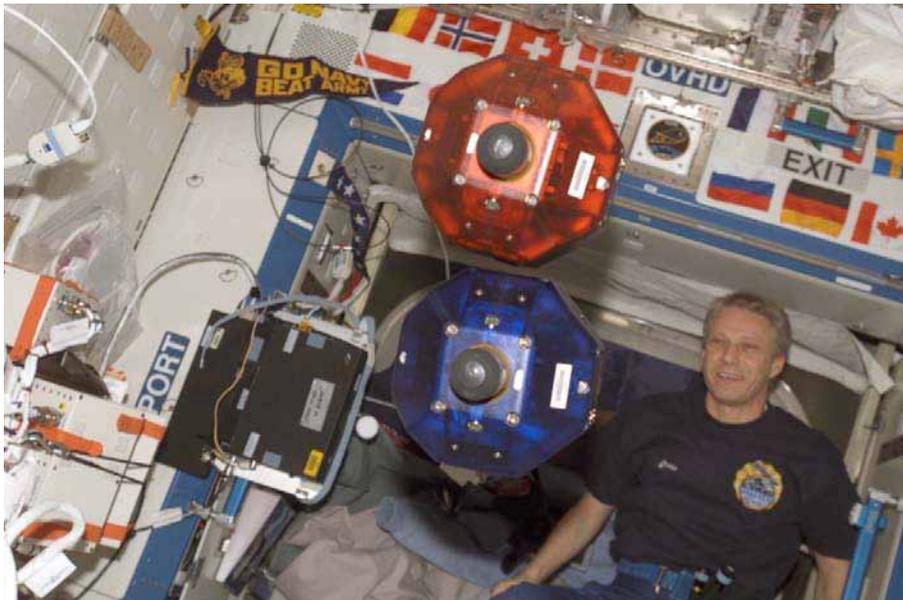
Den teilnehmenden europäischen Schulen wird ein SPHERES-Experte vor Ort zur Seite gestellt, der mit den Programmiervorgaben für die Droiden vertraut ist. Mehrere Universitätsmitarbeiter wurden zu diesem Zweck, gesponsert von der ESA, am MIT ausgebildet.

Bei dem Wettbewerb geht es nicht einfach nur darum, die Satelliten mit Befehlsfolgen zu füttern. Vielmehr unterstützen die Experten vor Ort die Schüler bei der Entwicklung entscheidender technischer Kompetenzen, wie Problemlösung, Designkonzeption, praktischem Lernen und Teamfähigkeit. Darüber hinaus führen die Projektergebnisse vielleicht sogar zu bedeutenden Fortschritten bei Servicearbeiten an Satelliten und beim Zusammenbau von Fahrzeugen im Weltraum.

Die Schülerteams aus den USA und Europa testen ihre Algorithmen unter realistischen Bedingungen in der Mikrogravitation und treten in K.O.-Runden gegeneinander an. Auf beiden Seiten des Atlantiks findet am Ende eine Finalrunde statt. Die Siegersoftware wird hochgeladen und von den ISS-Astronauten an den drei SPHERES in der Schwerelosigkeit getestet.

Aufnahmen des spannenden Finales werden vom ESTEC, dem Technologiezentrum der ESA in den Niederlanden, und vom MIT als Live-Stream zur Verfügung gestellt.

Europas Allianz mit den Raumdroiden hat begonnen! Und das ist nur das erste einer Reihe weltweiter Bildungsprojekte, bei denen die ISS als Wissenschaftsplattform für Schüler weltweit fungiert. Nach dem Erfolg des Pilotprojekts im Jahr 2011 wird die ESA bei künftigen Wettbewerben noch mehr Teilnehmer aus ganz Europa einladen. Möge die Kraft mit ihnen sein!



*SPHERES (Synchronized Position Hold, Engage, Reorient, Experimental Satellites) schweben im Labormodul Destiny, fotografiert von einem Besatzungsmitglied der Expedition 14. Im Hintergrund ist Flugingenieur Thomas Reiter zu sehen. Bild: NASA.*

# Wasser: eine chemische Lösung

---

Camille Alleyne

International Space Station Program Science Office

Johnson Space Center der NASA

Können Sie sich vorstellen, kein sicheres, sauberes Trinkwasser zur Verfügung zu haben? Hunderte von Millionen Menschen überall auf der Welt sind mit diesem Problem konfrontiert. Einer von acht Menschen hat keinen Zugang zu dieser lebenswichtigen Ressource.

Wasser, mit der chemischen Formel  $H_2O$ , ist auf der Erde in gewaltigen Mengen vorhanden. Ohne Wasser ist kein Leben möglich. Wasser bedeckt etwa 70 Prozent der Erdoberfläche. Der menschliche Körper besteht zu etwa 70 Prozent aus Wasser. Menschen brauchen sauberes Trinkwasser als Grundvoraussetzung für Gesundheit und Wohlbefinden.

Raumfahrtgenieure, die die Systeme für die ISS entwickeln, haben das gleiche Problem wie all diejenigen, die Menschen in entlegenen Gebieten der Erde helfen wollen – sie müssen Mittel und Wege finden, das unverzichtbare Wasser als leicht verfügbare Ressource bereitzustellen. Ziel des Global Water Experiment 2011 ist es, Schüler mit den chemischen Eigenschaften der globalen Wasserressourcen vertraut zu machen und ihnen zu vermitteln, wie sich Menschen unter verschiedenen Umweltbedingungen mittels unterschiedlicher Verfahren sauberes, sicheres Trinkwasser verschaffen.



*Rita Nobile, 15, von der Pacifica High School spricht in einem Webcast mit Mitgliedern des Digital Learning Network der NASA. (Foto: Anthony Plascencia, Ventura County Star)*

Die UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) und die IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) riefen in Partnerschaft miteinander das Jahr 2011 zum Internationalen Jahr der Chemie aus. Im Rahmen von Projekten, die das ganze Jahr über liefen, nahmen Schüler in aller Welt Wasserproben an ihrem Wohnort und führten Experimente zum pH-Wert und Salzgehalt der Wasservorkommen auf der Erde sowie zu diversen Wasseraufbereitungs-, Desinfektions- und Entsalzungsverfahren durch. Anhand der Ergebnisse soll eine interaktive Weltkarte mit Wasserdaten entstehen.

Die Amerikanische Chemische Gesellschaft sponsert ein Projekt mit dem Titel „Water: A Chemical Solution“ (Wasser: eine chemische Lösung), bei dem Schüler in den USA zum einen von den Schwierigkeiten erfahren sollen, mit denen Menschen anderswo bei der Wasserversorgung kämpfen. Zum anderen soll das Projekt unter jungen Menschen Interesse und Begeisterung für die Chemie wecken und die internationale Zusammenarbeit an einer kreativen Zukunft der Chemie fördern.

Bei dem Projekt lernen die Schüler auch das Wasseraufbereitungs- und Lebenserhaltungssystem der ISS samt seinen technischen Grundlagen kennen. Das System erzeugt ein gereinigtes Destillat aus kondensierter Feuchtigkeit, dem Urin der Besatzung und dem Spülwasser der Bordtoilette, einer Flüssigkeitsmenge von insgesamt etwa 10 kg. Dieses Destillat wird mit dem restlichen gesammelten Brauchwasser von Besatzung und Kabine gemischt und von einem Wasseraufbereitungsaggregat zu Trinkwasser für die Besatzung weiterverarbeitet.

Im Wasseraufbereitungsaggregat fungiert ein jodiertes Harz als Filter. Jod wird dem Wasser zugesetzt, um dem Wachstum von Mikroorganismen entgegenzuwirken – genau wie dem Trinkwasser in manchen Regionen der Erde Chlor zugesetzt wird. Auf der ISS wird Jod anstelle von Chlor verwendet, weil sich Jod viel leichter in den Weltraum transportieren lässt und weniger korrosiv wirkt. Mittlerweile wurde die Wasserfilterung mit jodiertem Harz zu einer kommerziellen Lösung weiterentwickelt und ist bereits in Katastrophengebieten und bei humanitären Hilfsprojekten in mehreren Ländern weltweit im Einsatz.

Wasserrecycling ist entscheidend, um den Bedarf an Frischwasser bei Weltraumexpeditionen zu verringern. Schüler aus aller Welt, die am Global Water Experiment teilnehmen, lernen nicht nur das Lebenserhaltungssystem der ISS kennen, sondern werden auch zum Nachdenken über die Umwelt und vor allem Wasser, die wichtigste Ressource für das Überleben der Menschheit, angeregt.



*Wasseraufbereitungssystem auf der Internationalen Raumstation (Bild: NASA/Dimitri Gerondidakis)*

# Ucyu Renshi (Weltraum-Kettengedichte): Worte verbinden Menschen auf der ganzen Welt

---

Masato Koyama

Space Environment Utilization Center, JAXA

Solange die Menschheit zurückdenken kann, dient ihr der Himmel als Projektionsfläche, um über das Leben nachzudenken und Träume in Worte zu fassen. Auch heute noch, da die Wissenschaft die Geheimnisse der Welt eines nach dem anderen entschlüsselt, inspiriert uns der Blick nach oben zu immer neuen Fragen, und die Weiten des Weltalls erfüllen uns mit Ehrfurcht.

Mit Ucyu Renshi (Weltraum-Kettengedichten) können alle Menschen weltweit in einem gemeinsamen poetischen Projekt ihre Gedanken über die Welt, das Universum, die Erde und das Leben zum Ausdruck bringen – frei von allen Schranken wie Nationalität, Kultur, Generation, Beruf, Position oder Rang.



*JAXA: Wenn die Ucyu Renshi-Sammlung eines Jahres fertig ist, findet anlässlich ihrer Veröffentlichung ein Ucyu Renshi-Symposium statt.*

Die JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) hat das UcyuRenshi-Projekt ins Leben gerufen, um die Menschen auf der Erde und die ISS-Besatzung im Weltraum mit Worten einander näher zu bringen. Aber auch Menschen, die sich nicht für Weltraumwissenschaften und -technologien interessieren, können teilnehmen.

Die Gedichtform des Renshi (Kettengedicht) entwickelte sich in den frühen 1970er Jahren aus den traditionellen japanischen Gedichtformen Renga und Renku (aneinandergereihten Versen), ist inzwischen weithin bekannt und hat Fans auf der ganzen Welt. Renshi haben kein festes Ende und führen die Traditionen der klassischen japanischen Poesie mit der Welt der modernen Lyrik zusammen. Ein Renshi entsteht, indem die Teilnehmer wie bei einem Staffellauf einander ablösen und das Gedicht immer weiter spinnen.

Ein Ucyu Renshi soll Gedanken über das Weltall, die Erde und das Leben zum Ausdruck bringen. Wirklich gut wird ein Ucyu Renshi aber nur, wenn jeder auf die Beiträge der anderen eingeht. So schafft ein Ucyu Renshi Berührungspunkte zwischen den Menschen.

Die JAXA stellt einmal im Jahr eine Ucyu Renshi-Sammlung, bestehend aus etwa 24 kurzen Versen, zusammen. Die Hälfte stammt von Amateuren, die übrigen enthalten Beiträge berühmter Dichter. Ist ein Ucyu Renshi fertig, wird es auf DVD gebrannt und alljährlich zur Internationalen Raumstation hochgeladen. Auch ein Ucyu Renshi-Symposium findet statt, um das Gedicht der Öffentlichkeit vorzustellen. Selbst den Japanischunterricht in Grundschulen hat die JAXA mit dem Ucyu Renshi-Projekt schon erreicht. Die Schüler verfassen Ucyu Renshi im Unterricht und lassen sich dabei von berühmten Dichtern inspirieren. Gleichzeitig lernen sie, mit ihren Klassenkameraden zusammenzuarbeiten. Die Schüler lieben das Schreiben von Ucyu Renshi und freuen sich, an einem großen Weltraumprojekt teilnehmen zu dürfen, bei dem auch das japanische Labormodul Kibo – auf Japanisch „Hoffnung“ – eine Rolle spielt.



Die JAXA begann das Ucyu Renshi-Projekt im Jahr 2006. Seither wird jedes Jahr ein Ucyu Renshi im Labormodul Kibo, dem japanischen Experimentalmodul der ISS, gespeichert. Alle Teilnehmer auf der Erde können die ISS, einen leuchtenden Stern am Himmel, beobachten und wissen, dass ihr Werk dort oben den Planeten umkreist. Seit Beginn des Projekts im Jahr 2006 ist die Zahl der Teilnehmer stetig gestiegen: Immer mehr Menschen interessieren sich für Ucyu Renshi und die Weltraumforschung und lassen sich von Ucyu Renshi zu einem neuen Blick auf das Weltall inspirieren.

JAXA: URL des Ucyu Renshi-Projekts: <http://iss.jaxa.jp/utiliz/renshi/>

# EarthKAM-Programm: Schüler fotografieren die Erde von der ISS aus

---

*Arun Joshi, International Space Station Program Science Office  
Johnson Space Center der NASA*

Stellen Sie sich vor, Sie sind ein junger, neugieriger Schüler der Mittelstufe, der sich mit den gewaltigen geografischen Formationen der Erde – Gebirgen, Küstenlinien, Ozeanen – befasst.

Und nun stellen Sie sich vor, Sie können diese Formationen aus der Perspektive eines Astronauten im Weltraum erkunden. Wäre das nicht aufregend? Beim EarthKAM-Projekt (Earth Knowledge Acquired by Middle School Students) haben Schüler der Mittelstufe genau diese Möglichkeit: Sie fotografieren die Welt aus der Astronautenperspektive!

EarthKAM ist ein von der NASA finanziertes Bildungsprojekt in Zusammenarbeit mit der Universität von Kalifornien in San Diego. Ziel ist es, Schüler aus aller Welt durch eine außergewöhnliche Lernerfahrung für Mathematik und die Naturwissenschaften zu begeistern, indem sie von der Internationalen Raumstation als „Aussichtspunkt“ Fotos von der Erde machen dürfen.

Für das EarthKAM-Projekt wird die Digitalkamera Nikon D2Xs verwendet. Diese ist an der WORF-Plattform (Window Observational Research Facility) installiert und nutzt das Beobachtungsfenster des amerikanischen Labormoduls Destiny, dessen hohe optische Qualität hochauflösende Aufnahmen der Erde ermöglicht. Gesteuert wird die Kamera über Befehle, die die teilnehmenden Schüler über ein Online-Programm an die Kamera senden. Schüler und Lehrkräfte können die Standardlehmaterialien durch „ihre“ Fotos ergänzen und haben gleichzeitig die Chance, hautnah bei einer Weltraummission dabei zu sein und eigene Forschungsprojekte durchzuführen. Die Initiatoren des EarthKAM-Projekts hoffen, die Schüler der Mittelstufe durch das aufregende „ISS-Erlebnis“ anzusprechen und eine neue Generation potenzieller Forscher, Wissenschaftler und Ingenieure motivieren zu können.



*Das Foto oben zeigt einen Blick auf Kroatien. Es ist eines der letzten Bilder, die bei einer EarthKAM-Sitzung im Juli 2011 entstanden. (Bild mit freundlicher Genehmigung von EarthKAM)*

Die Schüler arbeiten beim EarthKAM-Projekt aktiv mit Internet-Tools und Internet-Ressourcen und lernen dabei vieles über die Umlaufbahnen von Raumstationen und Satelliten sowie über die Fotografie der Erde vom Weltraum aus. Mit Unterstützung ihrer Lehrer bestimmen sie eine Zielregion. Dann verfolgen sie die Umlaufbahn der ISS, studieren Referenzkarten und Atlanten und müssen auch noch das Wetter berücksichtigen, bevor sie ihre Bildanfragen abschicken. Diese Anfragen werden nach San Diego an Studenten der Universität von Kalifornien weitergeleitet, die das EarthKAM MOC (Mission Operations Center), also das Kontrollzentrum für das Projekt, betreiben. Sie generieren aus den Anfragen eine Kamerasteuerdatei und laden die Anfragen dann mit Unterstützung des Johnson Space Center der NASA an einen Computer auf der ISS hoch.

Dort werden die Anfragen an die Digitalkamera weitergeleitet, die die gewünschten Bilder aufnimmt und wieder zum ISS-Computer überträgt, von wo sie zu EarthKAM-Computern auf der Erde hinuntergeladen werden. Der gesamte Ablauf dauert in der Regel nur ein paar Stunden, und die Fotos stehen dann den teilnehmenden Schulen, aber auch der Öffentlichkeit, online zur Verfügung.

An Bord der ISS erfordert die EarthKAM nur wenig Arbeit vonseiten der Astronauten, was ein großer Vorteil ist, da sich diese auch um andere Experimente und Nutzlasten kümmern müssen. Dazu Annie Powers, Flugkontrolleurin der NASA in der Abteilung Cargo Integration and Operations des Johnson Space Center: „Die Aufgabe der Besatzung beschränkt sich im Wesentlichen auf das Einrichten der Kamera. Sie positionieren sie auf einer Halterung über dem Fenster, nehmen die nötigen Kameraeinstellungen vor, verbinden das USB-Kabel mit dem Laptop und starten die EarthKAM-Software. Danach müssen die Astronauten nur noch regelmäßig die Kamerabatterie austauschen und normalerweise immer in der Wochenmitte das Objektiv wechseln. Das System funktioniert weitgehend autonom. Im Prinzip läuft die EarthKAM einfach von selbst!“



Das Foto oben zeigt einen Blick auf Nordkorea und gehört zu einer Serie von Aufnahmen, die die Studenten der Universität von Kalifornien, San Diego, für die EarthKAM-Teilnehmer mit Anmerkungen versehen haben.

In der Anfangsphase hieß das EarthKAM-Programm noch KidSat, ein Name, den Sally Ride, NASA-Astronautin und Schöpferin des Programms, geprägt hatte. Bevor die EarthKAM im Jahr 2001 auf der ISS installiert wurde, war sie bei fünf Shuttle-Flügen dabei. Seither ist sie eine permanente Nutzlast an Bord der ISS und begleitet etwa vier Missionen pro Jahr.

Das EarthKAM-Programm geht über die reine Wissensvermittlung aus dem Lehrbuch hinaus und verhilft den Schülern zu praktischen, lebensnahen Lernerfahrungen. Seit der ersten ISS-Expedition im März 2001 haben über 165.000 Schüler am EarthKAM-Projekt teilgenommen und eine unbekannte Zahl von Fans hat es online mitverfolgt. Auch international ist das Programm mit Nutzern aus bislang 41 Ländern ein großer Erfolg. „Mit jeder neuen Mission“, so Powers, „kann man die Zahlen wachsen sehen. [EarthKAM] ist mittlerweile praktisch ein Selbstläufer!“ Wer EarthKAM-Bilder sehen oder als Lehrkraft mit seiner Schule am EarthKAM-Projekt teilnehmen möchte, kann sich online anmelden.



*Die EarthKAM-Kamera ist mit einer Klemme an einer Mehrzweckhalterung montiert und befindet sich vor dem Nadir-Beobachtungsfenster in Knoten 2. Das Foto entstand bei der EarthKAM-Sitzung im Juli 2011. (Bild ISS028E019379, mit freundlicher Genehmigung der NASA)*

# Rote Tomaten für den Roten Planeten

CSA (Canadian Space Agency)

Unter den vielen Herausforderungen bei der Planung einer bemannten Mars-Mission ist die Entwicklung lebenserhaltender Systeme für die Astronauten die größte – oder zumindest eine der größten. Daher ist es nicht überraschend, dass führende Wissenschaftler weltweit genau diese Herausforderung zu ihrem Forschungsschwerpunkt erkoren haben, darunter auch einige aus Kanada.

Diese befassen sich mit der Konzeption autonomer biologischer Lebenserhaltungssysteme für Langzeitmissionen. Bei Mars-Missionen müssen die Wissenschaftler eine Reisedauer von jeweils mindestens sechs Monaten für den Hin- und den Rückflug einplanen. Dazu kommt eine Aufenthaltsdauer von voraussichtlich um die 18 Monate!

Pflanzen bieten sich als Grundlage für ein Lebenserhaltungssystem geradezu an. Sie eignen sich als Nahrung, geben Wasser und Sauerstoff ab, nehmen Kohlendioxid auf und lassen sich darüber hinaus auch noch zum Recycling von Abfallstoffen einsetzen. Allerdings erfordert diese Lösung, so offensichtlich sie auch erscheinen mag, doch einige gründliche Überlegungen. Unter anderem müssen sich die Wissenschaftler mit der Frage befassen, welche Pflanzensamen für Weltraummissionen am besten geeignet sind und ob die Umwelteinflüsse auf dem Flug durch die Tiefen des Weltraums und auf dem Mars selbst womöglich die Keimfähigkeit der Samen beeinträchtigen.

Aussolchen Überlegungen ging schließlich das Tomatosphere-Projekt hervor, eine gemeinsame Initiative der kanadischen Weltraumorganisation CSA, der University of Guelph in Ontario, des AAFC (Agriculture and Agri-Food Canada), des Forschungsverbunds Ontario Centres of Excellence, des Ketchupherstellers Heinz Canada und des Saatgutanieters Stokes Seeds. Als Katalystor für ein motivierendes und authentisches Lernerlebnis sollte das Tomatosphere-Projekt kanadische Schüler für das Thema begeistern.



*Bei einem früheren Tomatosphere-Projekt untersuchten Schüler der dritten Klasse der Langley Fundamental Elementary-Grundschule (Vancouver, British Columbia, Kanada), angeleitet von ihrer Lehrerin Miss Smith, das Wachstum von Tomatenpflanzen. Über den Sommer durften die Kinder ihre Pflanzen sogar mit nach Hause nehmen und im eigenen Garten weiterpflegen. (Bild: Tomatosphere-Projekt)*



Jedes Jahr bekommen die Schüler Tomatensamen, die Weltraum- oder zumindest simulierten Weltraumbedingungen ausgesetzt waren, sowie unbehandelte Tomatensamen als Kontrollprobe. Kürzlich wurden 600.000 solcher Samen mit der letzten amerikanischen Space-Shuttle-Mission zur Internationalen Raumstation gebracht, wo sie bis zu drei Jahre bleiben und dann wieder zur Erde zurückgebracht werden sollen. Danach wird man sie an über 13.000 teilnehmende Schulklassen verteilen. In erster Linie geht es bei dem Experiment darum, die Keimrate der Samen zu untersuchen. Ergänzt wird das Projekt durch zusätzliche Unterrichtsmaterialien für die Klassenstufen 3 bis 10, die eine Reihe verwandter Themen beleuchten, von der Pflanzenbiologie über die Ernährungswissenschaft bis hin zur Ökologie. Dazu ein Kommentar von Marilyn Steinberg, Space Learning Program Manager der CSA, über die Schüler, die am Tomatosphere-Projekt teilnehmen: „Diese Schüler betreiben Weltraumlandwirtschaft. Sie führen im Klassenzimmer Experimente durch, bei denen sie die Herausforderungen des Gartenbaus kennen lernen, sich mit innovativen Ideen über die Nahrungsmittelerzeugung außerhalb unseres Planeten auseinandersetzen und sich ein naturwissenschaftliches Grundwissen erarbeiten. So bereiten sie sich darauf vor, zur ersten kanadischen Planetenforschergeneration heranzuwachsen.“

In den nächsten drei Jahren werden die teilnehmenden Schüler weiterhin Daten zu den Chancen für eine Tomatenzucht im Weltraum sammeln und der Wissenschaft zur Verfügung stellen. Dabei werden sie hoffentlich Geschmack an Naturwissenschaft und Weltraumforschung finden.

Wer mehr über das Tomatosphere-Projekt wissen möchte, dem sei die Projekt-Website unter <http://www.tomatosphere.org/> empfohlen.

# Erde ruft ISS – Kommunikation mit Kosmonauten

Sergej Awdeew, stellvertretender Abteilungsleiter, Bereichsleiter

TSNIMASH (Zentrales Forschungsinstitut für Maschinenbau der russischen Weltraumorganisation)

Künftige Generationen von Wissenschaftlern, Technologen, Ingenieuren und Mathematikern heranzubilden ist eine Aufgabe für die ganze Welt, an der sich auch Roskosmos, die russische Weltraumorganisation, beteiligt. Zu den wichtigsten Projekten der Internationalen Raumstation gehören Bildungs- und Öffentlichkeitsprojekte, die junge Menschen ansprechen und für ein naturwissenschaftliches Studium interessieren sollen. Darüber hinaus regen diese Projekte die Entwicklung hochmoderner technischer Systeme an und werben in der Öffentlichkeit für Weltraumprogramme im Allgemeinen und das ISS-Programm im Besonderen. Zurzeit laufen an Bord des russischen ISS-Segments vier Bildungsprojekte, nämlich Coulomb Crystal, Shadow-Mayak, MAI-75 und Great Start. Sie alle faszinieren Schüler in ganz Russland und versprechen große Erfolge für die Zukunft.

Beim Coulomb Crystal-Experiment wird die Dynamik geladener Partikel in einem inhomogenen Magnetfeld in der Schwerelosigkeit untersucht. In Pilotstudien an Bord der ISS geht es um die strukturellen Eigenschaften von Coulomb-Clustern: Phasenübergänge bei Flüssigkristallen, Wellenprozesse sowie die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der beteiligten Erwärmungsmechanismen, um nur einige der Untersuchungsziele zu nennen. Schüler weiterführender Schulen und Studenten konnten das Experiment auf der Erde einrichten und durchführen.

Beim Shadow-Mayak-Projekt können Amateurfunken über VHF-Funk mit der ISS-Besatzung kommunizieren. Die Funkanlage an Bord des russischen ISS-Segments dient dabei als Mittel, um Schülern das Thema Weltraumkommunikation näherzubringen. Die Schüler machen sich mit den technischen Voraussetzungen für das Senden und Empfangen von Funksignalen vertraut und nutzen dazu das weltweite Amateurfunknetzwerk. Darüber hinaus lernen sie die Eigenschaften und die räumliche Verteilung der Intensität von Funksignalen bei der Übertragung hinauf zur ISS und vom Transceiver an Bord der ISS zurück zur Erde kennen.

Genau wie Shadow-Mayak gehört auch MAI-75 zu den Kommunikationsprojekten an Bord des russischen ISS-Segments. MAI-75 ermöglicht schnelle Video-Downlinks vom Weltraum auf die Erde in Fast-Echtzeit und gibt Schülern und Amateurfunkern aus ganz Russland damit die Chance, von den Weltraumforschern selbst aus erster Hand zu erfahren, wie es sich im Weltraum leben und arbeiten lässt. Aufnahmen der Erde aus dem Weltraum unterstützen den Lernprozess und vermitteln Inspiration und Motivation.

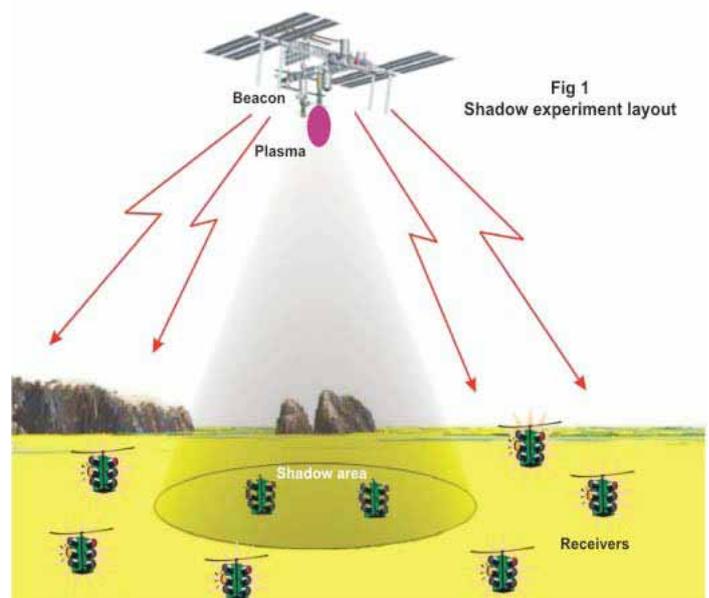


Diagramm des „Shadow-Mayak“-Experiments (Bild mit freundlicher Genehmigung von ROSKOSMOS)



*Foto zweier russischer Raumfahrzeuge, MAI (Moskauer Institut für Luft- und Raumfahrt)  
(Bild mit freundlicher Genehmigung von ROSKOSMOS)*

Das Bildungsprogramm „Great Start“ wirbt in Russland und weltweit für die Leistungen der russischen Raumfahrt. Im Rahmen des Projekts wurde beispielsweise ein Fragebogen erstellt, auf die Öffentlichkeit ihre Meinung zu einem großen Ereignis der Menschheitsgeschichte – dem ersten bemannten Raumflug – zum Ausdruck bringen können. Außerdem soll Great Start die Ergebnisse wissenschaftlicher Experimente an Bord der ISS und die internationale Zusammenarbeit auf der ISS bekannt machen und Russland auf diese Weise noch enger in die kulturellen, bildungspolitischen und wissenschaftlichen Strömungen der Welt einbinden. Für die Öffentlichkeit sollen wissenschaftliche und Bildungsveranstaltungen stattfinden, um die Leistungen der bemannten Raumfahrt in Russland herauszustellen. So können junge Menschen, aber auch Experten verschiedener Fachrichtungen, den praktischen Nutzwert der Weltraumforschung und ihrer Ergebnisse kennen lernen.

Mehrere weitere Experimente sind im Zuge der russischen Bildungsprojekte für Schüler und Studenten geplant: In ökologischen Projekten sollen Experimente zum Verhalten mikroskopischer schwebender Partikel in der Luft (Aerosole) unter Mikrogravitation stattfinden. In chemischen Experimenten sollen bestimmte Strukturelemente auf der Basis von Composit-Polymermaterialien unter Mikrogravitation und ihr Diffusionsverhalten untersucht werden. In Diffusionsexperimenten soll der Prozess der Diffusion in Flüssigkeiten unter Schwerelosigkeit dargestellt werden. An diesen Bildungsprojekten werden sich Hunderte, wenn nicht gar Tausende von Schülern und Studenten aus allen Regionen Russlands beteiligen. Und wie alle regionalen, nationalen und internationalen ISS-Bildungsprojekte sollen auch diese die junge Generation inspirieren und motivieren, eine Karriere in Naturwissenschaft, Technologie, Ingenieurwesen oder Mathematik ins Auge zu fassen.









National Aeronautics and Space Administration – Amerikanische Weltraumorganisation  
<http://www.nasa.gov/iss-science/>



Canadian Space Agency – Kanadische Weltraumorganisation  
<http://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/default.asp>



European Space Agency

European Space Agency – Europäische Weltraumorganisation  
<http://www.esa.int/esaHS/iss.html>



Japan Aerospace Exploration Agency – Japanische Weltraumorganisation  
<http://iss.jaxa.jp/en/>



ROSCOSMOS

Roskosmos – Russische Weltraumorganisation  
<http://knts.rsa.ru>  
<http://www.energia.ru/english/index.html>

