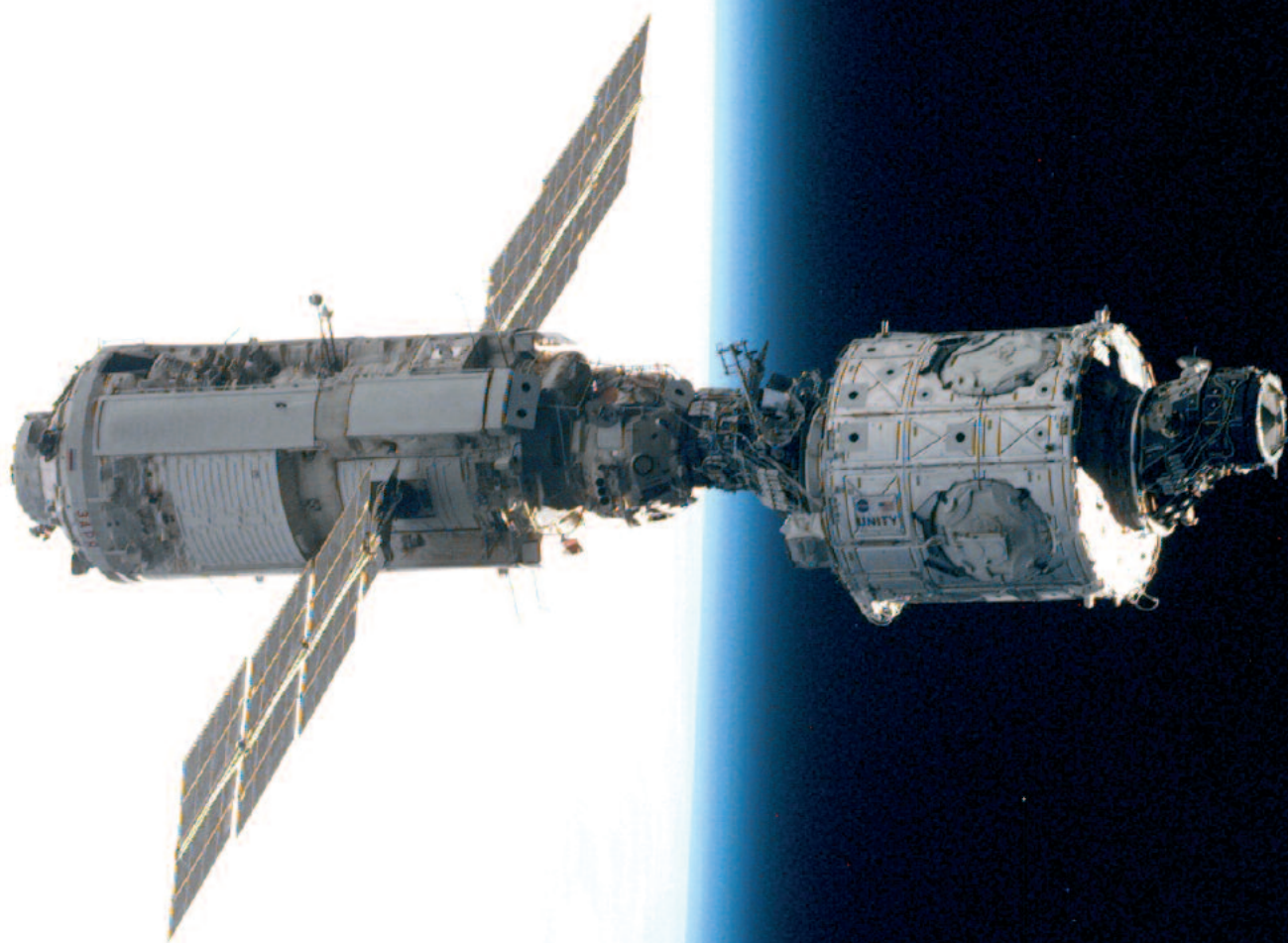


Dezember 1998 ►



Dezember 1998: Das russische Modul Sarja (links) und der amerikanische Verbindungsknoten Unity formen den Kern der Internationalen Raumstation ISS.

# Am Anfang war die Morgenröte

## Zehn Jahre im Orbit: Die Internationale Raumstation ISS

von Dr. Niklas Reinke

20. November 1998: Der Erdboden bebt infernalisch, es dröhnt und flammt. Das 53 Meter hohe Geschoss feuert seinen Flammenstrahl in die Betongrube und baut mit einem Rückstoß von 10.470 Kilonewton den nötigen Schub auf, um seine gut 700 Tonnen Gewicht in den Himmel zu stemmen. Mit lautem Getöse hebt die Proton K vom Kosmodrom Baikonur ab. Erst langsam, dann immer schneller steigt die Rakete in den stahlblauen Himmel – ein Ritt auf dem Feuer. An Bord der Rakete befindet sich „Sarja“, was soviel heißt wie Sonnenaufgang. Das größte wissenschaftlich-technische Vorhaben, dem sich die Menschheit je gestellt hat, beginnt: die Internationale Raumstation ISS.

Sonnenaufgänge hat das erste Modul der ISS inzwischen zur Genüge zu Gesicht bekommen: In zehn Jahren (oder 3.653 Tagen) dämmerte es Sarja an die 58.000-mal. In 400 Kilometer Höhe sieht es beeindruckend aus, wenn sich die Sonne über der zart blauen Atmosphäre der Erde erhebt. Doch das kann zunächst keiner be-

wundern. Sarja umkreist die Erde anfangs allein. Als erster Baustein des galaktischen Puzzles, das in der folgenden Dekade in der Erdumlaufbahn zusammengefügt werden soll, ist Sarja dafür ausgelegt, die frühe Raumstation mit Elektrizität, Antrieb, Bahnkontrolle und Stauraum zu versorgen.

Es dämmert in der Tat ein neues Zeitalter, die Kooperation im Weltraum beginnt: Sarja ist mit 220 Millionen Dollar von den USA bezahlt, aber im russischen Raumfahrtkonzern GKNPZ Chrunitschew entwickelt und gebaut worden; die USA verfügen in den 1990er-Jahren über keine Erfahrungen bei der Konstruktion von Antriebsmodulen für eine Raumstation. Mit dem Start des knapp 20 Tonnen schweren



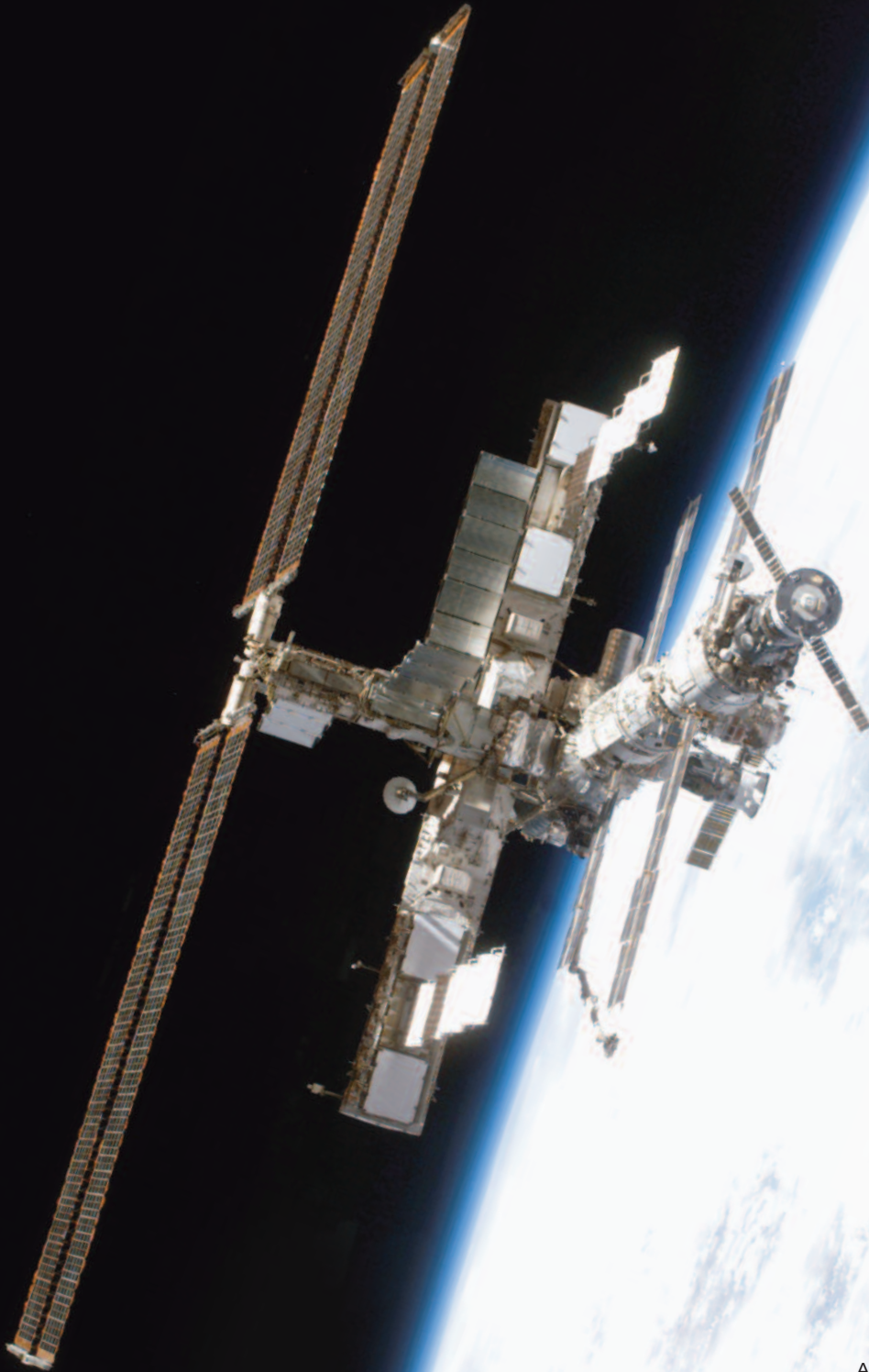
2006: ESA-Astronaut Thomas Reiter trainiert mit dem 3-D-Eye Tracking Device.

und 12,55 Meter langen Moduls Sarja beginnt die intensivste Flugphase in der Geschichte der Raumfahrt. 39 Flüge in den nahen Erdorbit und etwa 160 Außenbordeinsätze werden benötigt, um das gemeinsame Haus zu

### ALL-TAG

1983 verkündet die amerikanische Raumfahrtbehörde, dass „die Entwicklung der Raumstation bis Ende der 1980er-Jahre drei Milliarden Dollar“ kosten wird. – Die Konstruktion soll 20 Jahre länger dauern und das 40-fache Budget benötigen, die ISS wird zum teuersten Bauwerk der Menschheitsgeschichte.

August 2005 ▶



August 2005: Nach der Wiederaufnahme der Space-Shuttle-Flüge kommt der Aufbau der ISS zügig voran.

## ALL-TAG

Um die ISS-Crews vor dem Einschlag gefährlicher Weltraumtrümmer zu schützen, sind die Wohn- und Arbeitsmodule mit einer Doppelwand aus Gewebe und Schaumstofflagen umhüllt. Zusätzlich wird von der Erde aus rund um die Uhr mit Radaranlagen darüber gewacht, ob sich Schrottteilchen oder Meteoriten der ISS nähern, um gegebenenfalls Kurskorrekturen vorzunehmen.

errichten. Bereits am 4. Dezember 1998 folgt das Space Shuttle Endeavour (STS-88) mit dem amerikanischen Kopplungsknoten Unity, dem ersten von insgesamt drei. Probleme bei der Fertigung des russischen Wohn- und Servicemoduls Swesda lassen die Rumpfstation dann anderthalb Jahre allein durchs All treiben, bevor Swesda am 26. Juli 2000 gestartet wird. Nach seiner erfolgreichen Installation können am 12. September 2000 erstmals zwei Besatzungsmitglieder der Shuttle-Mission STS-106 in die Internationale Raumstation schweben. Seit dem 2. November 2000 ist die Station durchgehend mit einer Crew von zwei bis drei Astronauten respektive Kosmonauten besetzt, ab 2009 sollen es dann sechs sein.

Für den Aufbau der Station werden leistungsstarke Trägersysteme aus aller Welt eingesetzt, vornehmlich die amerikanische Raumfähre mit ihrer einzigartigen Kapazität, sowohl Astronauten als auch große Lasten in das Weltall zu befördern, aber auch die russischen Proton und Sojus, die europäische Ariane 5 und – ab 2009 – die japanische H-IIB. Das Unglück des Space Shuttles Columbia am 1. Februar 2003 führt zu einer Verzögerung von über drei Jahren und einer deutlichen Reduzierung der noch geplanten Shuttle-Flüge bis zur geplanten Einstellung dieses Trägersystems 2010.

Mit der erfolgreichen Wiederaufnahme der Shuttle-Flüge im Sommer 2005 ist der weitere Aufbau der Raumstation jedoch gesichert. Nach Fertigstellung der Station im Jahre 2010 wird die ISS ein Volumen von gut 1.000 Kubikmetern haben und damit etwa so groß sein wie der Innenraum eines Jumbo-Jets. Die Station wird dann aus maximal sechs Forschungslaboratorien, zwei Wohneinheiten und einer Aussichtskuppel bestehen, weiterhin aus Stauräumen, Luftschleuse, Verbindungsknoten, Andockvorrichtungen und drei Roboterarmen.

## Deutsche Forschung auf der ISS

Anfangs besuchen Europäer die ISS nur auf so genannten Taxi-Missionen, einzelnen Sojus- oder Shuttle-Flügen mit einer Dauer von etwa zwölf Tagen. Der Italiener Umberto Guidoni ist der erste ESA-Astronaut, der sich im April 2001 auf der Raumstation aufhält. Im Sommer 2006 wird schließlich ein neues Kapitel der ISS-Nutzung aufgeschlagen, als mit dem Deutschen Thomas Reiter, inzwischen Mitglied des DLR-Vorstands, der erste europäische Langzeitastronaut zur Orbitalstation aufbricht. Als erster Deutscher startet er am 4. Juli 2006 zu einem fast sechsmonatigen Aufenthalt an Bord der ISS. Sein Programm ist vollgepackt: Kontrolle und Wartung der

## Die Internationale Raumstation ISS

### System bei Fertigstellung

Spannweite	109 m
Länge	80 m
Tiefe	88 m
(mit ATV/Progress)	
Höhe	45 m
Masse	450 t

<b>Elektrische Leistung</b>	110 kW
Nutzlastanteil	46 kW

<b>Wohn- und Arbeitsraum</b>	1.200 m <sup>3</sup>
------------------------------	----------------------

<b>Mikrogravitationsbedingungen</b>	10 <sup>-6</sup> g
-------------------------------------	--------------------

### Betriebsumlaufbahn

Bahnhöhe	ca. 360 km
Bahnneigung	51,6°
Umlaufzeit	90 Minuten

<b>Bauphase</b>	1998-2010
-----------------	-----------

Raumstation, Überwachung der Umwelt- und Lebenserhaltungssysteme, Außenbordaktivitäten und Logistikhandling der Progress-Transporter. Schließlich arbeitet Reiter an rund 30 umfangreichen Experimenten, allein acht aus Deutschland. Es ist das erste Mal, dass europäische Wissenschaftler ein auf die Möglichkeiten der ISS ausgerichtetes, umfangreiches Experiment-Programm erstellen und über eine längere Zeit durchführen können. Reiters Mission Astrolab ist zudem die erste Mission, bei der das Columbus-Kontrollzentrum beim DLR in Oberpfaffenhofen als erstes europäisches Kontrollzentrum für eine astronautische Langzeitmission verantwortlich ist.

Am 7. Februar 2008 startet das Space Shuttle Atlantis mit den beiden ESA-Astronauten Hans Schlegel und Leopold Eyharts an Bord und bringt das europäische Weltraumlabor Columbus zur Raumstation. Columbus ist Europas Hauptbeitrag zur ISS und das erste europäische Weltraumlabor,

## ALL-TAG

Die ISS hat mit 80 Metern Spannweite die größten Sonnensegel, die je im Weltraum ausgebreitet wurden. Sie erzeugen 60-mal mehr Strom für Experimente an Bord als die russische Raumstation Mir benötigte – die gleiche Menge Strom genügt für die Versorgung von 30 Einfamilienhäusern. Etwa 100.000 Ingenieure, Manager und Wissenschaftler aus aller Welt sind in die Entwicklung der ISS eingebunden. Täglich arbeiten allein etwa 5.000 Personen für Aufbau und Betrieb der ISS.

August 2008 ▶



Endlich eine multinationale Raumstation: 2008 docken auch das europäische Labor Columbus (oben rechts) und das japanische Labor Kibo (oben links) an. Auf seiner ersten Mission befindet sich zudem der europäische automatische Versorgungstransporter ATV (unten).

das für langfristige, multidisziplinäre Forschung im All ausgelegt ist. 41 Partneereinrichtungen aus 14 verschiedenen Ländern beteiligen sich an der Forschung in Columbus. Nun laufen die ersten Experimente, doch tatsächlich ist Deutschland bereits seit sieben Jahren mit eigener Forschung auf der ISS präsent – schon das erste überhaupt auf der Raumstation durchgeführte wissenschaftliche Experiment stammte aus Deutschland: eine Versuchsanordnung zur Erforschung von so genannten Plasmakristallen.

Seitdem wurden rund dreißig weitere Experimente oder Experimentserien begonnen und teilweise bereits abgeschlossen. Ermöglicht wurde das durch erfolgreiche zwischenstaatliche Kooperationen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, das in seiner Rolle als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung die Raumfahrtaktivitäten definiert und umsetzt, mit den Raumstationspartnern USA, Russland, Japan und Kanada sowie im Rahmen des ESA-Programms. Das bisherige Forschungsspektrum umfasst neben der Plasmaphysik vor allem Projekte aus Raumfahrtmedizin und Biotechnologie.

#### ALL-TAG

Der europäische Raumtransporter ATV hat im ersten und zweiten Quartal 2008 nicht nur seinen überaus erfolgreichen Jungfernflug zur ISS absolviert, er bewies auch ungeahntes Regenerationspotenzial: Da das automatische Vehikel über kein eigenständiges Lebenserhaltungssystem verfügt, ist es dort besonders ruhig, was ATV zur bevorzugten Schlafstätte im Erdorbit werden ließ.

### Perspektiven der Columbus-Nutzung

Mit ISS und Columbus sind bereits jetzt gute Forschungsbedingungen erreicht. Diese werden sich gerade für die Raumfahrtmedizin im nächsten Jahr noch einmal entscheidend verbessern, wenn die Anzahl der Astronauten auf sechs erhöht wird und mehr Experimentierzeit und Probanden im Weltraum zur Verfügung stehen.

Was ist von der zukünftigen Forschung auf der ISS zu erwarten? Zusätzlich zu den abgeschlossenen oder laufenden Experimenten haben sich rund 70 weitere deutsche Projekte im internationalen Wettbewerb nach dem so genannten „Best Science“ Prinzip durchgesetzt und warten jetzt auf ihre Umsetzung. Mehr als 95 Prozent davon stammen aus dem Programm „Forschung unter Welt-raumbedingungen“ der DLR-Raumfahrt-Agentur, beschäftigen sich also mit bio- und materialwissenschaftlichen Fragestellungen. 2009 wird es eine neue Experimentausschreibung geben, um Projekte für die Zukunft einzuwerben.

Die Raumstation mit Columbus soll sich zukünftig auch zu einer Großforschungslabor für die Nicht-Raum-

fahrt-Industrie entwickeln. Diese Strategie wird nachhaltig vom für Raumfahrt federführenden Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie verfolgt und im Rahmen der Initiative GoSpace umgesetzt. Ziel ist hierbei die Gewinnung von Kunden, auch und gerade aus dem Bereich von kleinen und mittleren Unternehmen, die von der Nutzung der Schwerelosigkeit profitieren und Verfahren oder Produkte entwickeln, die wirtschaftlich einen zeitnahen Return of Investment erbringen.

#### Autor:

Dr. Niklas Reinke, Leiter Kommunikation der DLR Raumfahrt-Agentur.

#### ALL-TAG

Neben allen auf der ISS dringend benötigten Dingen verbergen sich in der persönlichen Nutzlast der Astronauten oftmals auch andere Sachen. So hat Felix der Hase, die bekannte Kinderbuchfigur, seine wohl längste Reise im Gepäck von Thomas Reiter während der Astrolab-Mission absolviert. Mit von der Partie war auch die Maus vom WDR aus Köln. Nach Käpt'n Blaubär und Hein Blöd, die ihren Weltraumausflug mit der Mir97-Mission und Reinhold Ewald absolviert hatten, durfte auch sie nun fast ein halbes Jahr die Erde umrunden.



20. November 1998: Sarja verlässt in einer Proton K-Rakete vom Kosmodrom Baikonur die Erde.

Kommentiert:

## Himmliches Vorbild

14 Nationen (USA, Russland, zehn Mitgliedsstaaten der ESA, Kanada und Japan) betreiben das gemeinsame Großforschungslabor im Weltall – nie waren mehr Länder an einem Projekt der Raumfahrt beteiligt. Die Internationale Raumstation beweist dabei, dass eine friedliche internationale Nutzung des Weltraums zum Vorteil aller Partner möglich und sinnvoll ist. Der Weg zur Wohn- und Arbeitsgemeinschaft im All war allerdings weder leicht noch selbstverständlich. Die Umsetzung der ISS als international komplex abgestimmtes Programm ist deshalb eine Meisterleistung an politischer, technologischer und wissenschaftlicher Kooperation, die historisch ohne Vorbild ist.

Das Unterfangen einer internationalen Raumstation war aus vielen Gründen nicht einfach, denn sie bedeutete etwas gänzlich Neues für die Zusammenarbeit in der Völkergemeinschaft. Die Partnerstaaten mussten sich nicht nur auf ein technologisches Konzept und die Nutzung der Station einigen, sondern auch über den rechtlichen Rahmen. Wem würde das Urheberrecht für neue Entwicklungen gehören? Wie gelangten Versuchsproben ohne Verletzung die-

ses Rechts an die Wissenschaftler? Welches Zivil- und Strafrecht gilt an einem Ort, der sich auf keinem nationalen Territorium befindet? Wie werden die Betriebskosten getragen und das Stationsmanagement koordiniert? 1988 wurden diesbezügliche Regelungen in einem internationalen Regierungsabkommen festgeschrieben. Es wurde als „Vertrag ohne Vorbild“ bezeichnet und zählt zu den umfangreichsten Dokumenten der internationalen Zusammenarbeit. Es hielt auch die Freiheit der Forschung und die Verständigung auf die friedliche Nutzung der Station fest.

Dann fiel 1989 die Berliner Mauer – und wenig später gab sich Russland eine demokratische Verfassung. Mit der Überwindung des Kalten Kriegs zwischen Ost und West schwand auch die politische Bedeutung einer rein westlichen Raumstation. Kooperation ersetzte Konkurrenz. Russland wurde 1993 von den USA eingeladen, sich am Programm einer internationalen Raumstation zu beteiligen. Trotz fortbestehender nationaler Ambitionen wurde mit der ISS auch die Raumfahrt globalisiert – endlich, möchte man sagen.

Am 29. Januar 1998 trafen sich die verantwortlichen Minister der Partnerstaaten in Washington, um der ISS mit der Unterzeichnung eines neuen Regierungsübereinkommens den völkerrechtlichen Rahmen zu geben. Mehr als das Abkommen von 1988 basierte es auf dem Grundsatz gleichberechtigter Partnerschaft, die Führung der USA bei Konstruktion und Bau wurde jedoch fortgeschrieben, sie investieren auch mit Abstand am meisten in den Orbitalkomplex. Mit der engen Einbeziehung Russlands aber wurde die anvisierte Station zu einem bedeutenden Instrument der Ost-West-Beziehungen, zu einem stabilisierenden Faktor zwischen den sich über fünf Jahrzehnte rivalisierend begegneten Supermächten und zu einem Mittel zum Abbau von Spannungen. Ja, mit Gesamtkosten von etwa 120 Milliarden Dollar ist die ISS ein kostspieliger Bau. Neben all ihrer Bedeutung als technologische und wissenschaftliche Herausforderung ist sie aber vor allem eines: die wahrscheinlich effektivste Friedensdividende nach dem Ende des Kalten Kriegs.

## Bauelemente der ISS

Modul	Beschreibung	Startdatum
Sarja – Functional Cargo Block (FGB)	Russisches Fracht- und Kontrollmodul	20.11.1998
Unity – Node 1	Verbindungsknoten	04.12.1998
Swesda	Wohnmodul	12.07.2000
Z1 – Integrated Truss Zenit 1	Gitterstruktur	11.10.2000
P6 – Integrated Truss Portside 6	Gitterstruktur und Solarmodul	30.11.2000
Destiny	Labormodul der USA	17.02.2001
Canadarm2	Kanadischer Robotergriffarm	19.04.2001
Quest – Joint Airlock	Luftschleuse	12.07.2001
Pirs – Docking Compartment 1	Andockmodul und Luftschleuse	14.08.2001
S0 – Integrated Truss Starboard 0	Gitterstruktur	08.04.2002
S1 – Integrated Truss Starboard 1	Gitterstruktur	07.10.2002
P1 – Integrated Truss Portside 1	Gitterstruktur	23.11.2002
P3/4 – Integrated Truss Portside 3/4	Gitterstruktur + Solarmodul	28.08.2006
P5 – Integrated Truss Portside 5	Gitterstruktur	14.12.2006
S3/4 – Integrated Truss Starboard 3/4	Gitterstruktur + Solarmodul	22.02.2007
S5 – Integrated Truss Starboard 5	Gitterstruktur	08.08.2007
Node 2	Verbindungsknoten (Fertigung in Europa)	23.10.2007
Columbus	Europäisches Labormodul	07.02.2008
Kibo – Experiment Logistics Module (ELM) und Canada Dextre Roboter	Teil des japanischen Labormoduls und zweiarmer kanadischer Roboter	11.03.2008
Kibo – Pressurized Module (PM)	Teil des japanischen Labormoduls	31.05.2008
S6 – Integrated Truss Starboard 6	Gitterstruktur und Solarmodul	12.02.2009
Kibo – Exposed Facility (EF)	Äußerer Teil des japanischen Labormoduls	15.05.2009
Mini-Research Module 2		August 2009
Mini-Reserch Modole 1		08.04.2010
Node 3 und Cupola	Verbindungsknoten und Aussichtsmodul der USA (beide in Europa gefertigt)	10.12.2010
Multipurpose Laboratory Module (MLM) mit dem European Robotic Arm (ERA)	Russisches Fracht- und Labormodul und europäischer Roboterarm	Dezember 2011

## Deutsche Experimente auf der ISS

### Lebenswissenschaften – Strahlenbiologie

#### DOSMAP (2001)

Das erste nicht-amerikanische biowissenschaftliche ISS-Experiment (Strahlungsmessung)

#### CHROMOSOME-1 und -2 (2002-2006 und seit 2006)

Untersuchung der Strahlenbelastung von Astronauten

#### Matroshka (seit 2004)

Experiment zur Messung der Strahlenbelastung innerhalb und außerhalb der ISS

#### DOSIS (seit 2006)

Personendosimetrie an Astronauten

#### EXPOSE-EuTEF (seit 2008)

Anlage für Forschung in der Strahlen- und Astrobiologie zu Fragen der Entstehung des Lebens, unter anderem mit den Experimenten DOSIS und R3D-EII zur Strahlungsmessung, ADAPT zur Adaptionsstrategie von Mikroorganismen und PROTECT zur Untersuchung der Widerstandsfähigkeit von Sporen gegenüber extraterrestrischen Bedingungen

### Lebenswissenschaften – Humanphysiologie

#### PULS (2002-2007)

Analyse des Herz-Kreislauf- und autonomen Nervensystems

#### Eye Tracking Device, ETD (seit 2004)

Orientierung des Menschen im Raum während längerer Schwerelosigkeit

#### PMDIS/TRAC (2006/7)

Reaktions- und Anpassungsfähigkeiten des Menschen unter veränderten Schwerkraftbedingungen

#### IMMUNO (seit 2006)

Erforschung der hormonellen und immunologischen Veränderungen bei Astronauten während und nach Weltraumflügen

#### Pneumocard (seit 2007)

Analyse des Herz-Kreislauf- und autonomen Nervensystems

#### HealthLab (seit 2008)

Messungen zur psychischen Belastung und Kreislaufregulation der Kosmonauten in Schwerelosigkeit

#### SOLO (seit 2008)

Natrium-Einlagerung, Ernährung und Knochenstoffwechsel bei Menschen in Schwerelosigkeit

### Lebenswissenschaften – Biologie

#### Heuschrecken im Weltraum (2005)

Untersuchung der Embryonalentwicklung

#### AT-SPACE (2007)

Wahrnehmung von Schwerkraft, Signaltransduktion und Reaktionen auf Schwerkraft in Pflanzen

#### WAICO (seit 2008)

Untersuchung zum Wurzelwachstum von Pflanzen in Schwerelosigkeit

### Proteinkristallisation

#### Bakteriorhodopsin (2001)

Züchten von perfekten Kristallen in der Schwerelosigkeit

#### Low density Lipoprotein, LDL (2001)

„Schlechtes“ Cholesterin und Arteriosklerose

#### Spiegelbildliche RNA-Moleküle (2001-2002)

#### Mistellektin zur Immunstimulierung und Krebsbekämpfung (2001-2002)

#### Erstmalige Kristallisation von Oberflächenproteinen aus Urbakterien (2001-2002)

#### Ribosomen-hemmende Proteine (2006)

### Physik

#### PKE und PK 3 Plus (seit 2001)

Erforschung der Phasenübergänge in Plasma-Kristallen

#### GEOFLOW (seit 2008)

Simulation geophysikalischer Strömungen im Erdinneren

### Schullexperiment

#### Tadpoles (2001)

Schüler begleiten Weltraumexperiment mit Kaulquappen des Krallenfrosches

#### Oil Emulsion in Space (2006)

Mischung und Entmischung von Wasser und Öl in Schwerelosigkeit

### Technologie und Industrie

#### ROKVISS (seit 2004)

Erprobung modularer Roboterkomponenten im freien Weltraum

#### SKIN (2006)

Physiologische Untersuchung der Haut im Weltraum

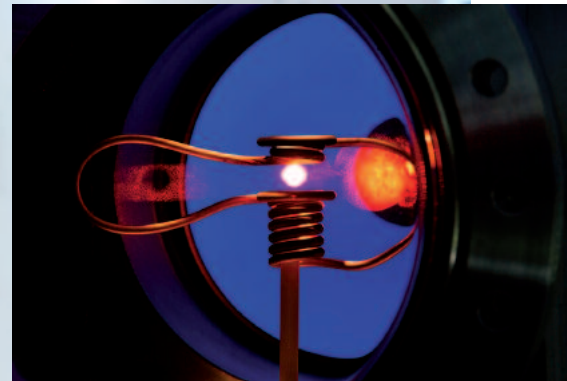
#### GTS (2006)

Innovatives Funksystem für die Übertragung von Funksignalen von der ISS zur Erde

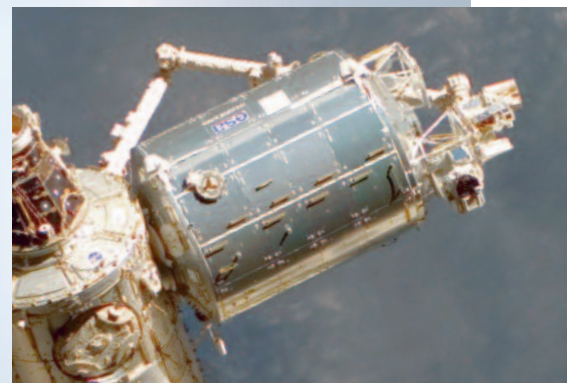
### Astrophysik

#### SOL-ACES (seit 2008)

Präzisionsmessungen des Sonnenspektrums



Materialforschung an schwebender Metallprobe



COLUMBUS



Vorbereitung des Biolab