1964-2014

→ DER ESA-EFFEKT

Dienst an der europäischen Kooperation und Innovation

European Space Agency

esa

1964-2014

→ DER ESA-EFFEKT

Dienst an der europäischen Kooperation und Innovation

European Space Agency

5 FÜNFZIG JAHRE EUROPA IM WELTRAUM

6 EINFÜHRUNG
8 Budget der ESA
9 Weltraumbasen
10 Treibkräfte

12 DIE TIEFEN VON RAUM UND ZEIT
14 Die Flotte der ESA für das ganze Spektrum
16 Zeitmaschine
18 Reise bis zur Grenze des absoluten Nullpunkts
20 Eine Übersichtskarte
22 Galaxien wie Sandkörner
24 Kalter Blick
26 Entstehungsschritte
28 Ein Geist aus Röntgenstrahlen
30 Leben und Sterben von Sternen
32 Hubbles Universum
34 Dunkle Materie, direkt vor uns und dennoch verborgen
36 Suche nach den ersten Sternen
38 Webb-Design
40 Sternenhimmel im Schatten
42 Gaias Auge
44 Einsteins Traum vom Fallen

46 DAS SONNENSYSTEM
48 Das Durchschreiten der Leere
50 Landung im Nebel
52 Eine Menagerie von Monden
54 Sonnenfinsternis
56 Eiswelten mit versteckten Ozeanen
58 Kometenfänger
60 Terra incognita
62 Doppelgänger
64 Trockener Ozean auf dem Roten Planeten?
66 Der Gipfel des Mars'
68 Phobos' Oberfläche
70 Willkommen in der Hölle
72 Ein fremdes Licht
74 Mission zum fehlenden Teil
76 Im Scheinwerferlicht
78 Feuer am Himmel
80 Der Zyklus der Sonnenflecken
82 Ein Streifen Sonne
84 Polerkundung
86 Oase in der Ferne

88 GESCHÄFTSZENTRUM IM ALL
90 Welt der Ringe
92 Die Antennen stehen bereit
94 Öffentlich-private Partnerschaften
96 Reflektorleistung
98 Einführung von Alphasat
100 Satelliten für mehr Sicherheit am Himmel
102 Zur Landung freigegeben
104 Sturmwarnung

106 SICHERE UMLAUFBAHN FÜR SATELLITENNAVIGATION
108 Von oben geleitet
110 Galileos Grundlagen
112 Europas neues Zeitalter der Navigation
114 Gesundheitscheck in der Umlaufbahn
116 Galileo auf dem Boden
118 Einsamer Außenposten
120 Am unteren Ende der Welt

122 AUF UNSEREN HEIMATPLANETEN AUFPASSEN
124 Polare Position
126 MetOp im Aufwind
128 Radarsicht
130 Envisat: 10 Lebensjahre auf der Erde
132 Die Sentinels: die Erde im Blick
134 Etwas liegt in der Luft
136 Ein Loch im Himmel
138 Planet in Brand
140 Staub am Himmel
142 Fluglinien
144 Eiskanten
146 Das Gesicht der Tiefe
148 Seegras
150 Atmender Planet

152 Schwindende Wälder
154 Das steinerne Herz Asiens
156 Kein Rauch ohne Feuer
158 Tsunamiverwüstung
160 Unruhiges Gewässer
162 Zufluchtsort
164 Urbaner Planet
166 Versinkende Stadt
168 Feldermosaik
170 Die neue Generation
172 Karte der weltweiten Schwerkraft
174 Die salzige, wässrige Haut der Erde
176 Neue Dimensionen bei der Kartierung der Pole
178 Magnetische Mission
180 Das Auge der ESA auf die Erde

182 **HOCH OBEN ZUHAUSE**
184 Ein gemeinsam genutzter Weltraum
186 Forschungsplattform
188 Europas Platz im Weltraum
190 Der Schwerkraft widerstehen
192 Nachschubwege
194 Letzte Vorkehrungen
196 ATV auf seinem Weg
198 Automatisches Treffen
200 Der menschliche Faktor
202 Gewichtsverlust Marke ESA
204 Absinken und doch schwimmen
206 Der beste Freund des Menschen
208 Simulation in der Sojus-Kapsel
210 Raketenzug
212 Aufwärts
214 Ein Fenster zur Welt
216 Lichter in der Nacht
218 Blaue Juwelen im Roten Meer
220 Schneebedecktes Hochland
222 Ein Funkauge auf die Seefahrt
224 Abwärts
226 Ein Zeichen des Fortschritts
228 Was darunter liegt
230 Eisiges Vorspiel für die Erkundung

BRÜCKEN IN DIE UMLAUFBAHN 232
Startbereit 234
Flug mit Feuer 236
Starker Rivale 238
Südamerikanische Sojus 240
Observatorium auf der Insel 242
Funkverbindung zur Umlaufbahn 244
Große Schüssel 246
Kontrollzentrum 248
Immer auf der Hut 250

WEGBEREITUNG 252
Technisches Herz 254
Missionen, die Formen annehmen 256
Der Weltraum ganz klein 258
Tests in der Nanowelt 260
Vakuumtest 262
Die Schallmauer 264
Geschüttelt, nicht gerührt 266

DER WELTRAUM AUF ERDEN 268
Unsere Welt heute 270
Gekrümmtes Metall 272
Wilde Drehung in der Luft 274
Glaskunst 276
Andocken mit Stil 278
Geschäftsmöglichkeiten 280
Wissenspools 282

NUR DER ANFANG 284
Sauberer Weltraum 286
Den Himmel im Blick 288
Stromabwärts 290
Weg vom Netz und doch am Telefon 292
Energiebündel 294
Eine Welt für sich 296
Weitersagen! 298

Die Missionen der ESA 300

Eine Veröffentlichung der ESA Communications

BR-306/DE August 2014

Translation/layout	Translatus
Author	S. Blair
Production Editor	A. Wilson
Designer	G. Gasperoni (Taua)
Production Designer	H. Simões
ISBN	978-92-9221-075-5
ISSN	0250-1589

Copyright © 2014 European Space Agency

FÜNFZIG JAHRE EUROPA IM WELTRAUM

Wie entstand die Europäische Weltraumbehörde, der dieses Buch gewidmet ist? Das gemeinsame Weltraumengagement, aus dem die ESA langsam entstand, begann vor einem halben Jahrhundert. 2014 feiern wir das 50-jährige Bestehen Europas als Weltraummacht mit verschiedenen Events und Aktivitäten.

In den späten 1940er Jahren und bis in die 1950er Jahre war Europa damit beschäftigt, sich vom Krieg zu erholen. Es gehörte keine bedeutsame europäische Präsenz im Weltraum zum Plan, bis zwei führende Wissenschaftler – Pierre Auger aus Frankreich und Edoardo Amaldi aus Italien – sich für einen gemeinsamen europäischen Einsatz stark zu machen begannen. Amaldi erklärte, dass der Start der Europäischen Satelliten, die er *Eurolunes* nannte, von „erstklassiger Wichtigkeit sei und zwar *moralischer* und *praktischer* Art, für alle Länder des Kontinenten".

Als Gründer des CERN, der Europäischen Organisation für Kernforschung, in den 1950er Jahren hatten sich die beiden ein Modell für dieses neue Unterfangen ausgedacht, das gemäß Amaldi „auf wissenschaftlichen und technischen Prinzipien und nicht auf politischen und wirtschaftlichen Argumenten basieren sollte". Ende 1960 führten diese Gespräche zur Bildung von COPERS, der Kommission zur Untersuchung für die Möglichkeiten zur europäischen Zusammenarbeit im Weltraum (Englisch: Commission to Study the Possibilities for European Collaboration in the Field of Space).

1964 führte dies zu den Abkommen zur Schaffung der ELDO (European Launcher Development Organisation) für den Bau von Trägersystemen und der Europäischen Weltraumforschungsorganisation ESRO (European Space Research Organisation).

Etwas mehr als ein Jahrzehnt verging, bis die ESA geschaffen wurde und diese beiden Organisationen ablöste. Trotz technologischer Rückschläge und politischer Unsicherheiten, die die 1960er- und 1970er-Jahre bestimmten, war damit das Modell für eine realistische europäische Zusammenarbeit für die Weltraumwissenschaft und deren Anwendung – zusammen mit dem Bau von Trägerraketen – festgelegt. Dieses Modell schaffte die Rahmenbedingungen für das gesamte europäische Programm, das daraus entstand.

Wie erfüllt zeigt sich 2014 Amaldis Vision? Die ESA ist Europas Tor zum Weltraum, mit der Mission die Entwicklung der europäischen Fähigkeit im Weltraum zu bestimmen und sicherzustellen, dass diese Investition in den Weltraum der Bevölkerung Europas und der gesamten Welt viele Vorteile bringt. Die Nutzung des Weltraums dient der Bevölkerung mehr und mehr. Beispiele sind Wetterberichte, Telekommunikation und Navigation. Die Erforschung des Weltraums bringt uns mehr Wissen über unser Sonnensystem und unsere Erde, woraus wir einmalige Daten für das Verständnis weltweiter Änderungen ziehen können.

Dies ist nur möglich, da wir die Trägerraketen, Systeme und Technologien haben, die Satelliten ins Weltall schicken können. Die Vorteile der Weltraumnutzung und -erforschung haben sich in einem Maß gezeigt, wie wir uns dies vor 50 Jahren nicht vorstellen konnten. Die Anwendungen aus dem Weltraum sind jetzt Teil des täglichen Lebens aller Europäer geworden und stellen eine der effizientesten Wachstumsmöglichkeiten dar. Die Zukunft ist für den Weltraum noch wichtiger als die Vergangenheit.

Das Motto der diesjährigen Feierlichkeiten lautet „*Im Dienste der europäischen Kooperation und Innovation*" unterstreicht wie sehr die ESA – zusammen mit den Mitgliedsstaaten, der Raumfahrtindustrie, der Wissenschaftsgemeinschaft und neuerdings auch der EU – für Europa und deren Bevölkerung viel Nutzen gebracht hat. Es ist unmöglich geworden, Europa ohne den Weltraum zu betrachten.

Fünfzig Jahre europäische Kooperation im Weltraum ist ein Jubiläum für den gesamten Weltraumsektor in Europa, der auf die Resultate und das Erreichte stolz sein kann. Sie ist Zeuge davon, dass wenn Mitgliedsstaaten gemeinsame herausfordernde Ziele haben und die Kräfte aufteilen, Europa an vorderster Front des wissenschaftlichen Fortschritts stehen kann und damit wirtschaftliches Wachstum und Konkurrenzfähigkeit erschaffen kann, die der Bevölkerung dient.

Jean-Jacques Dordain
Generaldirektor

EINFÜHRUNG

Die Europäische Weltraumorganisation ist das gemeinsame Engagement Europas, Zugang zum Weltall zu schaffen, es zu erkunden und zu nutzen, wobei auch unser Planet dazugehört. In Anbetracht der Unendlichkeit des Alls und der endlosen Möglichkeiten, die dies bietet, haben die Mitgliedsstaaten beschlossen, gemeinsam auf Ziele hinzuarbeiten, die ein einzelnes Land alleine nie erreichen könnte.

Die ESA ist eine Organisation mit Menschen aus allen Mitgliedsstaaten. Sie hat sprachliche und kulturelle Barrieren überwunden, um eine gemeinsame Vision zu erarbeiten, die auf der Leidenschaft für Spitzenleistungen basiert, wobei die Diversität eine der größten Stärken darstellt und drei Hauptwerte die Aktivitäten bestimmen: Europäisch, visionär und menschlich. Die Resultate der ESA sprechen für sich. Gute Arbeit führt im Allgemeinen zu Erfolg. Seit über vier Jahrzehnten haben die gemeinsamen Bemühungen der Organisation greifbare Unterschiede für Europa, die ganze Welt und das weiter gefasste Weltall gebracht.

Den Weltraum nutzen

Weshalb sollte sich Europa im Weltraum engagieren? Die Tatsache, dass die Forschung für Europa zur Tradition gehört, ist nur ein Grund von vielen. Der Weltraum wurde auch schon neuer Ozean oder letzte Grenze genannt, wobei allerdings beide Begriffe – obwohl sie zwar stimmen – nicht alle Möglichkeiten erfassen, die uns außerhalb der Erde offenstehen.

Was uns der Zugang zum Weltall bietet, ist insbesondere eine Hebelwirkung – die Erweiterung der Bemühungen für ein bestimmtes Ziel. Unsere Vorfahren wussten, dass einen Schritt zurückzugehen und sich die Hebelwirkung zunutze zu machen, die beste Methode ist, ein schweres Objekt anzuheben. Das Hebelgesetz ist eine der ältesten Ingenieursleistungen. Je größer ein Hindernis, desto größer muss der Hebel sein, um es zu verschieben. Wie Archimedes schon sagte: „Gib mir einen Hebel, der lang genug ist, einen Punkt, wo ich hintreten kann, und ich hebe die Erde aus den Angeln."

Heutige Satelliten sind raffinierte Geräte einer anderen Größenordnung, aber das ihnen zugrundeliegende Betriebsprinzip ist immer das gleiche: Ihr Einsatz weit weg von ihrem Heimatplaneten macht sie so mächtig. Sie ermöglichen den Schritt der Menschheit weiter ins All, zeitnahe Kommunikationsmittel, präzises Navigieren auf der ganzen Welt, die Kartierung der Erdatmosphäre und sogar kleinster Landbewegungen im Millimeterbereich, aber auch das Verständnis der inneren Funktionsweise des Erdsystems. Nur von oben können diese Aufgaben richtig ausgeführt werden.

Das Vermächtnis der ESA

Die positiven Auswirkungen der ESA sind vielfältig. Die inspirierte Weitsicht des entfernten Kosmos, die wir aus den ESA-Missionen erlangt haben, hat verändert, wie die Menschheit das Universum und unsere Stellung darin sieht. Das Verständnis unserer eigenen Welt und des komplexen Systems, das uns Leben schenkt, wurde durch die Sicht aus dem Weltall revolutioniert. Gleichzeitig kann man die Erde mit anderen Welten im Sonnensystem und darüber hinaus vergleichen.

Von Wettersatelliten bis zu raumgestützter Telekommunikation und Umweltüberwachung bilden die Systeme der ESA die Grundlage für eine stärkere strategische Unabhängigkeit Europas und einen zentralen Platz in der Welt, zusammen mit einer besseren Lebensqualität und Wohlstand für die Bevölkerung.

Die unglaubliche Komplexität der von der ESA durchgeführten Raumfahrtprojekte haben auf die europäische Wirtschaft eine bleibende Wirkung. Die Unternehmen können so Ingenieurswissen unbekannten Präzisions- und Leistungsgrades sammeln und häufig neuartige Techniken und Technologien entwickeln, was die unternehmerische und technische Wettbewerbsfähigkeit Europas stärkt. Zusammengefasst bedeutet dies, dass Unternehmen sich zusammen für einen höheren Standard einsetzen. Und dieses gesamte Know-how kann anschließend auf die ganze Welt ausgeweitet werden. Als Pionierin hat die ESA mit ihrem Erfolg im Weltraum die Schaffung weiterer Dienstleistungsorganisationen für solche Entwicklungen angeregt sowie die Entstehung weltweit führender Unternehmen auf neuen Märkten angeleitet, die aus der Weltraumin-novation hervorgegangen sind.

Verpflichtung zur Zusammenarbeit

Das Bedürfnis eine unabhängige Weltraummacht zu schaffen stammt aus den 1960er Jahren mit der Bildung der Europäischen Weltraumforschungsorganisation (European Space Research Organisation, ESRO) für wissenschaftliche Satellitenprojekte und der Europäischen Organisation für die Entwicklung und den Bau von Raumfahrzeugträgern (European Launcher Development Organisation, ELDO). 1973 einigten sich die Partnerländer darauf, eine gemeinsame Organisation zu schaffen. Die Verzögerung hat mehr politische als technische Gründe: Die verschiedenen europäischen Länder hatten sehr unterschiedliche, nationale Prioritäten für die *Tabula rasa*, die das Weltall bot, wobei diese Differenzen ein früheres Übereinkommen über einen gemeinsamen Aktionsplan verhinderten.

Aber am Ende war die Verlockung des Weltalls zu groß, um nicht doch die Quadratur des Kreises zu vollführen. Im ESA-Übereinkommen kann man einen sehr europäischen Kompromiss erkennen. Die einzige obligatorische Verpflichtung für ESA-Mitgliedsstaaten ist das Forschungsprogramm der Organisation, zusammen mit der Finanzierung der grundlegenden Forschungs-, Technologie- und Betriebsinfrastruktur. Die Unterstützung der restlichen ESA-Programme ist freiwillig.

Zunächst wurde diese À-la-carte-Strategie für den Weltraum mit Skepsis betrachtet, aber mit den Jahren hat sich gezeigt, dass das ESA-Übereinkommen sehr robust und flexibel ist und es den Mitgliedsstaaten ermöglicht, nationale Prioritäten zuvorkommen zu lassen, während sie gleichzeitig die Vorteile gemeinsamen Handelns nutzen können.

Das Übereinkommen ist demnach einer der größten Vorzüge der ESA. Tatsächlich handelt es sich dabei um einen internationalen Vertrag, der es der ESA ermöglicht – mit dem ESA-Rat der Mitgliedsstaaten und dem Generaldirektor – bestimmte technische Pläne in vereinbarte Programmerklärungen (wiederum internationale Verträge zwischen den sich verpflichtenden Mitgliedsstaaten) zu verwandeln, damit die Arbeit schnell und effizient begonnen werden kann.

Die Regierungen Europas haben in der Folge ihre Zustimmung geäußert. Die Mitgliederzahl der ESA ist von 10 auf 20 gestiegen, wobei auch Kanada als assoziiertes Mitglied dazu gestoßen ist. Mit seiner separaten Behörde arbeitet dieses Land ebenfalls mit der Europäischen Union zusammen, um so die Vorteile des Weltraums für Europa und die ganze Welt zugänglich zu machen.

Ein einflussreiches Beispiel

Ein wichtiger Effekt der ESA ist ihre Vorbildfunktion. Staaten außerhalb der Organisation konnten mitverfolgen, wie Nationen zusammenarbeiten können. Als Folge davon hat man gesehen, wie eine umfassendere Erkundung auf globaler Ebene begonnen wurde und man das Muster nationalen Wettbewerbs gegen eines der internationalen Kooperation ausgetauscht hat.

Die Organisation als europäische Behörde mit einer globalen Perspektive eignet sich perfekt für die Zusammenarbeit, basierend auf bilateralen Partnerschaften mit weltweiten Weltraumorganisationen und als Ausgangspunkt für internationale Abkommen. Die internationale Partnerschaft, die zur Internationalen Raumstation geführt hat, ist wohl das bedeutendste Beispiel. Der Erfolg hat zu einem stillschweigenden Abkommen über die zukünftige Erkundung der weiteren Erdumgebung geführt, bei der internationale Zusammenarbeit im Vordergrund steht. Zudem gibt es die Programme und Vereinbarungen über die gemeinsame Nutzung von Ressourcen und Daten im Bereich Raumwissenschaft und Erdbeobachtung, wie beispielsweise die Gründerrolle der ESA für die Internationale Charta für Weltraum und Naturkatastrophen zeigt, bei der Satellitenüberwachung und die Planung der Reaktionsfähigkeit auf Naturkatastrophen die Hauptrolle spielen.

Zusammen bewirken wir mehr: Dies war das Credo der ESA seit eh und je und die Welt springt langsam auf diesen Zug auf. Auf den folgenden Seiten erfahren Sie, in welche Aktivitäten die ESA involviert ist und was für Zukunftspläne sie hat.

Indem wir einen Überblick über die Errungenschaften der Organisation schaffen, statt jede Mission einzeln aufzuführen, zeigt dieses Buch den ESA-Effekt auf verschiedenen Ebenen auf. Von der Beobachtung der Ränder des Weltalls, der Analyse unseres eigenen Sonnensystems, Satellitenkommunikationssystemen, Meteorologie, Navigation und Erdbeobachtung bis zur Errichtung eines Brückenkopfs für die Menschheit oder den Trägerraketen und Bodenstationen, die Europa mit dem Weltraum verbinden. Der stete Fluss neuer Technologien bringt den Weltraum immer näher zusammen und bietet im Alltag unzählige Spin-off-Möglichkeiten.

Belgien
Dänemark
Deutschland
Finnland
Frankreich
Griechenland
Großbritannien
Irland
Italien
Luxemburg
Niederlande
Norwegen
Österreich
Polen
Portugal
Rumänien
Schweden
Schweiz
Spanien
Tschechische Republik

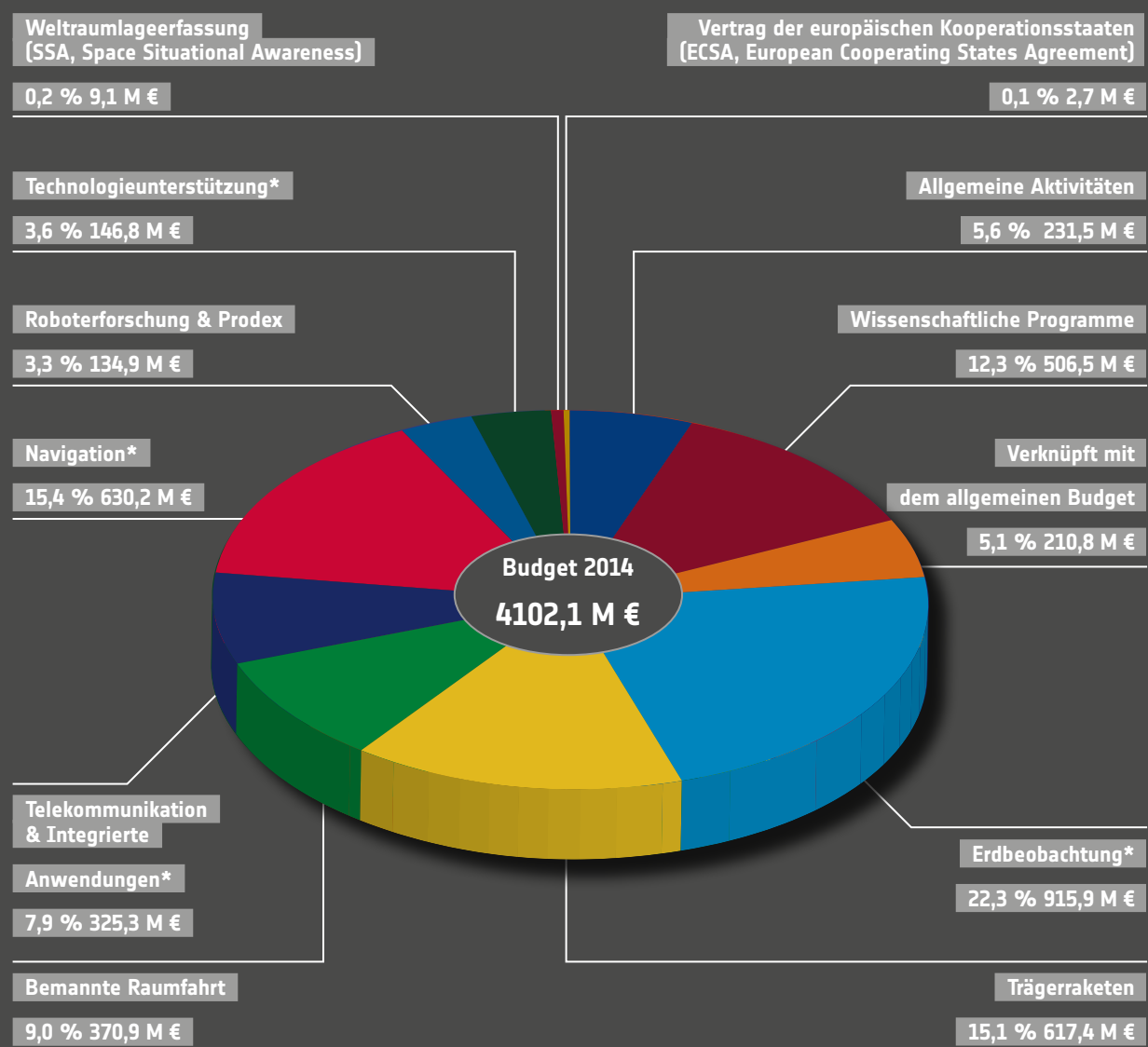
Kanada

BUDGET DER ESA

Die ESA ist eine der wenigen Raumfahrtorganisationen auf der Welt, die Aktivitäten in beinahe allen Raumfahrtaktivitäten nachhaltig kombiniert: Von fundamentaler, wissenschaftlicher Forschung zur Unterstützung industrieller Wettbewerbsfähigkeit, und das alles mit durchschnittlichen Ausgaben in der Höhe eines Kinoeintritts pro Mitgliedsstaat pro Jahr. Die Mitgliedsstaaten tragen zu den obligatorischen Programmen der Behörde (ungefähr 20 % des Budgets) mittels eines Aufteilungsschlüssels bei, der auf dem Bruttosozialprodukt basiert. Die weiteren optionalen Programme interessieren nur bestimmte Mitgliedsstaaten, die ihr Mitwirken selber bestimmen können.

Das gesamte 4 Milliarden Euro schwere Budget der ESA wird nach und nach ausgegeben, wobei 85 % davon für Verträge mit europäischen Unternehmen, Universitäten und Forschungsinstitutionen aufgewendet wird. Diese Verträge werden auf der Basis „Juste Retour“ aufgeteilt: So viel Geld wie ein Mitgliedsstaat in ein ESA-Programm investiert, bestimmt den Anteil, der die jeweilige Industrie aus den daraus erzielten Verträgen erhält. Allerdings müssen diese Verträge erst innerhalb klar definierter Beschaffungsprozesse gewonnen werden.

Eine wichtige Eigenschaft der Unterstützung für die industriellen und wissenschaftlichen Sektoren ist die Produktion mit hoher Wertschöpfung, die aufgrund der strategischen Natur kaum verlagert oder ausgegliedert werden kann. Diese Arbeit und Expertise, die aus Europa stammt, bleibt auch in Europa. Die meisten Aktivitäten und Know-how sind europäisch. Dies ist sehr wichtig, denn viele Innovationen stammen aus dem Herstellungsprozess selber: „Learning by doing“. Weitere Sektoren, in denen die Herstellung aus Europa ausgegliedert wurde, verlieren an Konkurrenzfähigkeit zum Vorteil anderer Wirtschaften. Dies ist dank der industriellen Richtlinien der ESA und der steten Unterstützung der Mitgliedsstaaten im Weltall nicht der Fall.



*Inklusive Programme für andere Institutionspartner

M € Millionen Euro

WELTRAUMBASEN

Die ESA hat verschiedene Standorte in Europa, eine Abschussrampe in Französisch-Guayana in Südamerika und ein Netzwerk von Bodenstationen auf dem ganzen Planeten.

ESA HQ: Das Hauptquartier der ESA liegt in Paris. Hier befinden sich die Büros des Generaldirektors, einiger ESA-Programmdirektoren und das Kabinett. Hier werden die Entscheidungen getroffen, die die jetzigen und zukünftigen Aktivitäten bestimmen.

ESTEC: Das Europäische Weltraumforschungs- und -technologiezentrum ESTEC (European Space Research and Technology Centre) in Noordwijk in den Niederlanden ist die größte ESA-Anlage, das Ingenieursherz der ESA, ein Testzentrum und ein Zentrum für die europäischen Weltraumaktivitäten.

ESOC: Das Europäische Raumflugkontrollzentrum ESOC (European Space Operations Centre) in Darmstadt, Deutschland, stellt die problemlose Funktion der Raumfahrzeuge im Weltall sicher.

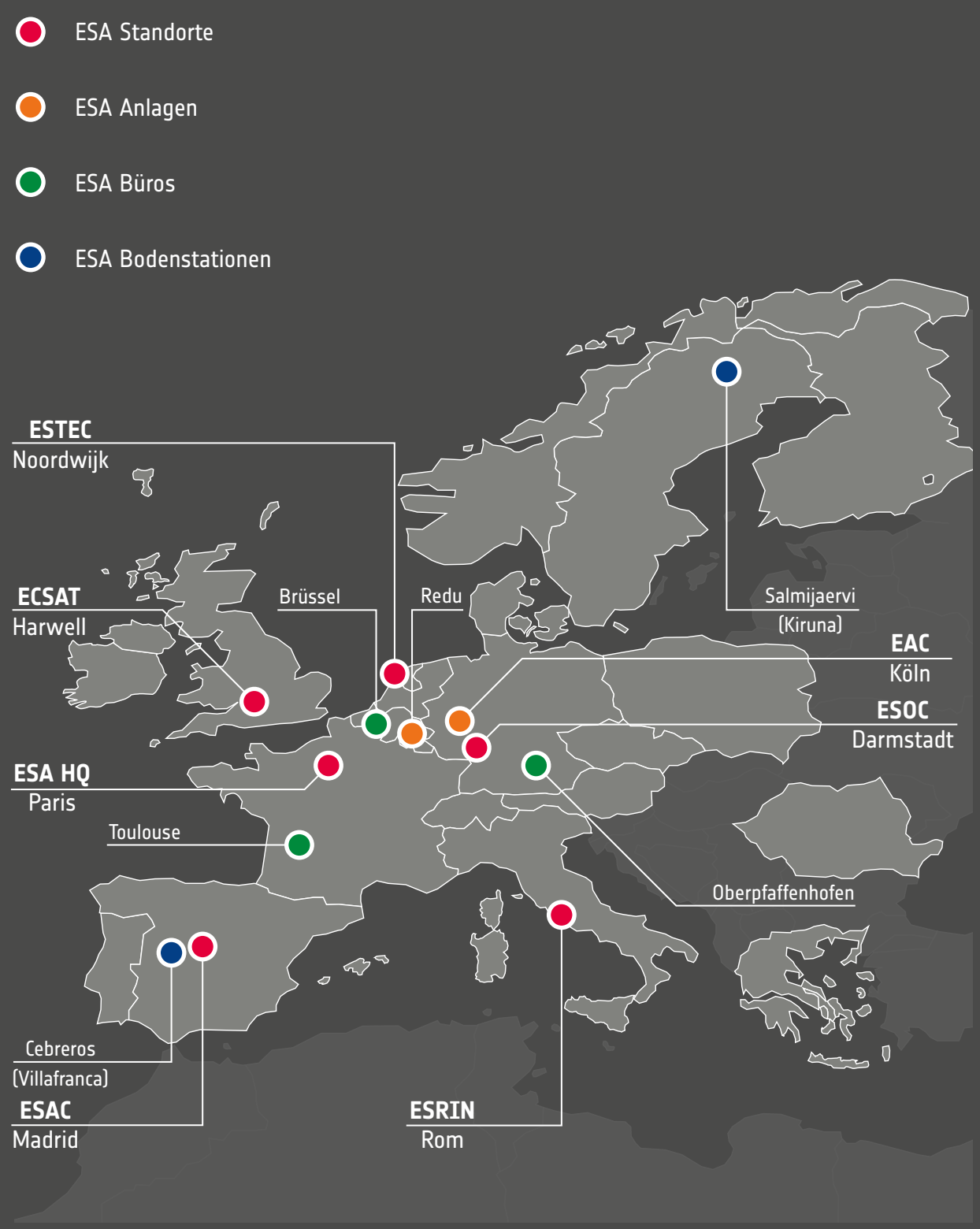
ESRIN: Das Europäische Raumfahrtforschungsinstitut ESRIN (European Space Research Institute) in Frascati bei Rom managt das Bodensegment für die Erdbeobachtungssatelliten der ESA und Drittbetreibern, wobei hier ebenfalls das größte Archiv der Umweltdaten in Europa steht, über 20 Bodenstationen und Bodensegmentanlagen in Europa koordiniert werden und mit über weiteren 20 Bodensegmentbetreibern weltweit zusammengearbeitet wird.

EAC: Das Europäische Astronautenzentrum EAC (European Astronauts Centre) in Köln, Deutschland, ist das Ausbildungszentrum und Hauptbasis für alle europäischen Astronauten, die Mitglieder des ESA-Astronautenkorps.

ESAC: Das Europäische Weltraum-Astronomiezentrum ESAC (European Space Astronomy Centre) in Villanueva de la Cañada in der Nähe von Madrid in Spanien unterhält den wissenschaftlichen Betrieb der Astronomie- und Planetenmissionen der ESA zusammen mit den wissenschaftlichen Archiven.

ECSAT: Das European Centre for Space Applications and Telecommunications (ECSAT, europäisches Zentrum für Raumfahrtanwendungen und Telekommunikation) in Harwell, Großbritannien, konzentriert sich mit Modellen aus Satellitendaten auf den Klimawandel, auf Technologien für die Erforschung des Weltraums und integrierte Raumfahrtanwendungen.

Die Redu Station ist das Kontroll- und Testzentrum für Satelliten in Belgien als Teil des Bodenstationsnetzwerks der Agentur. Hier befindet sich ebenfalls das Datenzentrum für das Weltraumwetter.



TREIBKRÄFTE

So sieht die Europäische Weltraumzusammenarbeit in der Praxis aus: die Sicht des Generaldirektors auf den ESA-Rat im Oktober 2011. Am Tisch vertreten sind die damaligen 19 Mitgliedsstaaten der ESA sowie Kanada. Hinzu kommen weitere 10 Mitgliedstaaten der EU, die mit der ESA zusammenarbeiten, aber noch keine Mitglieder sind.

Der ESA-Rat ist das Hauptverwaltungsorgan und schafft die wichtigsten Richtlinien, innerhalb derer die ESA das Europäische Weltraumprogramm entwickelt. Der Generaldirektor bringt dem Rat Anträge für die Richtlinien, Programme und Aktivitäten vor. Der Rat bespricht diese Anträge und trifft die Entscheidungen, die der Generaldirektor und seine Exekutive durchführen.

Jeder Mitgliedsstaat ist im Rat vertreten und verfügt über eine Stimme, unabhängig von der Größe oder der Höhe der finanziellen Beiträge.

Seit dem abgebildeten Treffen haben die Delegationen der 10 Mitgliedsstaaten, die noch nicht ESA-Mitglieder sind, die Möglichkeit als Beobachter im Rat zu sitzen, während die Zukunft des Europäischen Weltraumprogramms besprochen und definiert wird. Im Juni 2011 hat der ESA-Rat entschieden, dass die 10 Staaten, die Mitglied der EU nicht aber der ESA sind, den Beobachterstatus erhalten sollen: Bulgarien, Estland, Lettland, Litauen, Malta, Polen, die Slowakische Republik, Slowenien, Ungarn und Zypern. Diese Staaten sind dazu eingeladen, an den ESA-Ratssitzungen und der untergeordneten Organe teilzunehmen, wenn es um Dinge geht, die sowohl die ESA als auch die EU betreffen.

Der Beobachterstatus dieser Länder ermöglicht es ihnen, an den Gesprächsrunden innerhalb der ESA teilzunehmen, um ESA-EU-Angelegenheiten zu besprechen und die Entscheidungs-findungsprozesse der ESA aus erster Hand mitzuerleben.

Die ESA und die EU teilen ein gemeinsames Ziel: die Stärkung Europas zum Nutzen der Bevölkerung. Der Vertrag von Lissabon aus dem Jahr 2009 beauftragt die EU damit, eine europäische Weltraumpolitik aufzustellen und die nötigen Beziehungen zur ESA aufzubauen, die eine Rolle als Forschungs- und Entwick-lungsinstitution für den Weltraum einnimmt. Mit dem ESA-EU-Rahmenvertrag aus dem Jahre 2004 haben die beiden Partner die Europäische Raumfahrtpolitik als gemeinsamen politischen Rahmen für die Raumfahrt in Europa aufgesetzt.

Des Weiteren werden die 29 Mitgliedsstaaten der ESA und der EU im ESA-Rat von Kanada ergänzt, das dank dem langjährigen Zusammenarbeitsvertrag mit der Agentur ebenfalls teilnimmt.

Der Rat trifft sich alle drei Jahre auf Ministerebene. Der Minister-rat trifft Schlüsselentscheidungen zu neuen und laufenden Programmen und finanziellen Verpflichtungen, um so die kommenden Jahre zu planen.

esa
PRESIDENT
DIRECTEUR
GÉNÉRAL
COMMISSION
SUISSE

→ DIE TIEFEN VON RAUM UND ZEIT

Wenn unsere Erde mit einer dichteren Atmosphäre ausgestattet wäre, hätten wir den Himmel mit unseren Augen möglicherweise nie sehen können und die menschliche Geschichte hätte sich vielleicht ganz anders abgespielt. Ursprünglich hörte das Universum da auf, wo wir mit bloßem Auge nichts mehr erblicken konnten. Unser Sonnensystem hatte nur sechs Planeten. Um weiter hinaus blicken zu können, mussten wir unsere Sehkraft verstärken. Das Teleskop ist wahrscheinlich eine niederländische Erfindung, aber 1609 war es der Italiener Galileo Galilei, der als erster die Idee hatte, sein selbstgebautes „optisches Rohr“ in den Himmel zu richten. Im Folgejahr konnte er die Entdeckung von vier Jupitermonden feiern.

Das Universum dehnt sich aus

Heute wissen wir, dass wenn wir nachts in den Himmel schauen, eigentlich in die Geschichte blicken – in ein sich geheimnisvoll ausdehnendes Universum, das ungefähr 14 Milliarden Jahre alt ist. Unsere Sonne ist einer von 200 Milliarden Sternen in der Milchstraße, die selbst Teil eines Supergalaxienhaufens mit Tausenden von Galaxien mit einer Ausdehnung von 100 Millionen Lichtjahren oder mehr ist. Und auch dieser ist wiederum Teil einer noch größeren Struktur, der „Großen Mauer“, ist.

Aber es brauchte vier Jahrhunderte Fortschritt, bis wir hier angelangt waren, wobei das uns bekannte Universum jeweils parallel zum größten Teleskop wuchs. Im 20. Jahrhundert konnte man die biologischen Grenzen des menschlichen Auges eliminieren, das nur ein schmales Fenster im elektromagnetischen Spektrum sehen kann. Um weiter entfernt blicken zu können, mussten die Teleskope und Instrumente von der Erde abgehoben werden – denn den Kosmos von unterhalb unserer turbulenten Atmosphäre zu beobachten, ist wie wenn man vom Boden eines Swimmingpools nach oben blickt. Weltraumteleskope können innerhalb eines breiteren Spektrums schärfer sehen. Energiereiche Gamma-, Röntgen- und Ultraviolettstrahlung wird von unserer Atmosphäre abgeschirmt, was auch gut ist, denn diese Energien sind für alle Lebewesen gefährlich. Und die Infrarotstrahlung, die von den kältesten Objekten im Universum ausgestrahlt wird, kann nur von Systemen aufgenommen werden, die selbst noch kälter sind, ohne dass warme Luft dazwischen gerät.

Kartierung der Sterne

Das Bedürfnis nach weltraumbasierten Systemen war für die Wissenschaft so groß, dass das europäische Weltraumforschungsprogramm viel vor der ESA

entstand: die auf die Wissenschaft konzentrierte Europäische Weltraumforschungsorganisation (European Space Research Organisation, ESRO), der Vorläufer der ESA, begann 1964 mit der Arbeit. Die europäische Weltraumwissenschaft nimmt heute eine anerkannte Führungsposition in verschiedenen Schlüsselbereichen ein, wie Infrarot- und Röntgenastronomie sowie hochpräziser Kartierung von Sternen. Auf der Suche nach Möglichkeiten, tiefer ins All hinein zu blicken, hat die ESA Teleskope noch weiter entferntvon den störenden Einflüssen der Erde stationiert.

Für die Wissenschaft

Ein Hauptgrund für den steten Erfolg des ESA-Weltraumprogramms ist, dass die Prioritäten von der wissenschaftlichen Gemeinschaft gesetzt werden. Die Agentur arbeitet daran, Themen für Zukunftsprogramme zu bestimmen, dies mit wissenschaftlichen Beratungsgruppen wie der Astronomy Working Group, der Fundamental Physics Advisory Group und der Solar System Exploration Working Group, die unser Sonnensystem direkter betrifft. Und da es so viele Jahre harter Arbeit braucht, um immer raffiniertere Weltraummissionen Realität werden zu lassen, die die Antworten auf die anspruchsvollsten wissenschaftlichen Rätsel bringen, arbeitet die ESA mit langfristigen Plänen, die auf diesen Themen basieren.

Der aktuelle Plan heißt Cosmic Vision 2015–2025 und behandelt vier Hauptfragen das Universum und uns betreffend. Welche Bedingungen sind für die Entstehung von Planeten und Leben nötig? Wie funktioniert das Sonnensystem? Was sind die physikalischen Grundgesetze im Universum? Wie ist das Universum entstanden und woraus besteht es? Diese Antworten decken enorm viele Themen ab, weshalb mögliche Missionskonzepte aus einer Anfragenserie für Missionen ausgewählt werden. Dabei wird auch stets die Zusammenarbeit mit Agenturen außerhalb Europas angestrebt.

Die Flotte der ESA für das ganze Spektrum

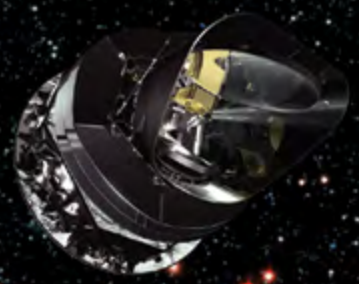
Dank modernster Technologien kann uns die Astronomie heute ein völlig neues Universum entdecken lassen. Mit der Flotte astronomischer Observatorien der ESA kann die Wissenschaft das volle Lichtspektrum erforschen, in das verborgene Infrarotuniversum blicken, den ungezähmten und wilden, gewaltigen Hochenergie-Kosmos auskundschaften und sogar zum Anbeginn der Zeit zurückblicken.

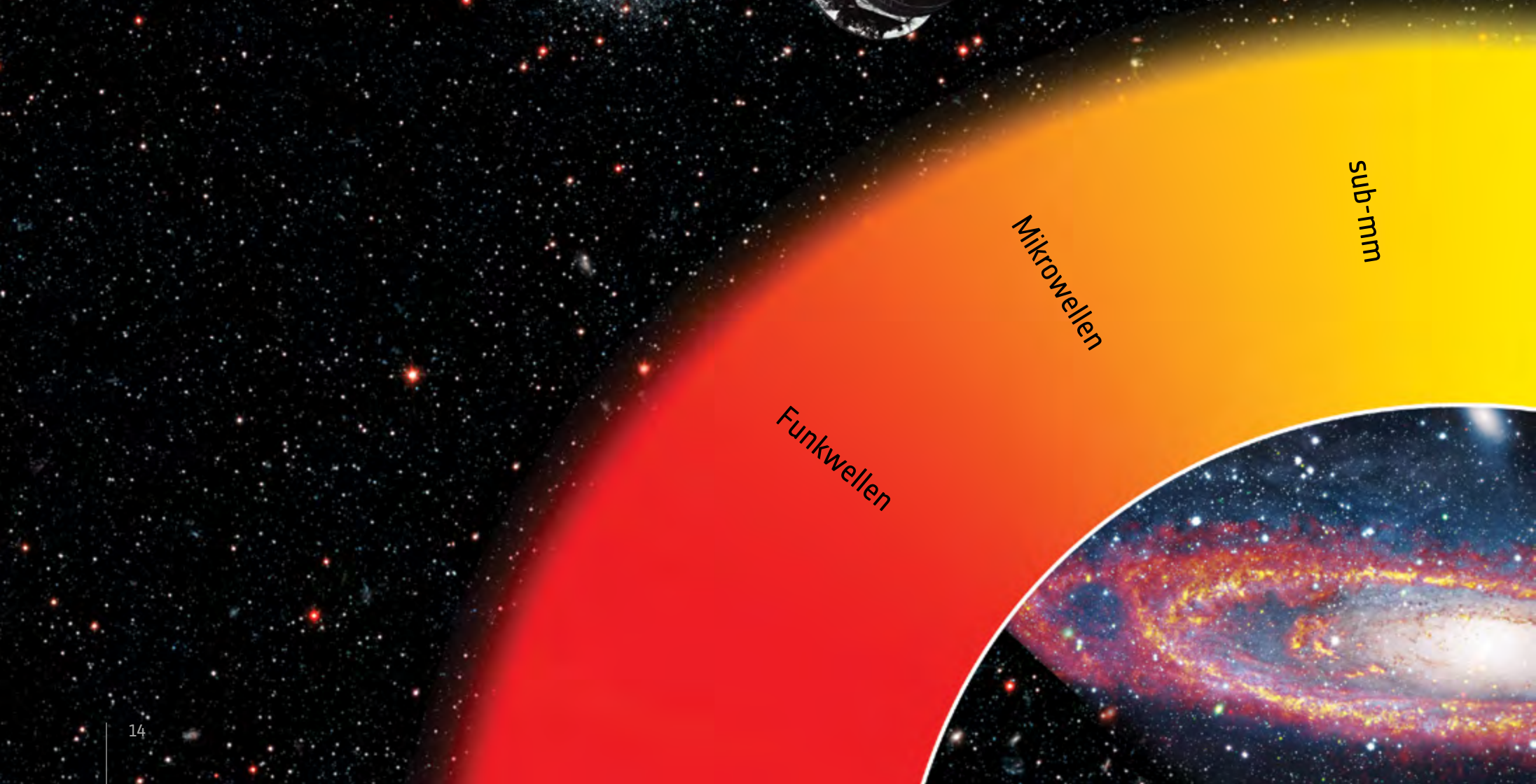
herschel

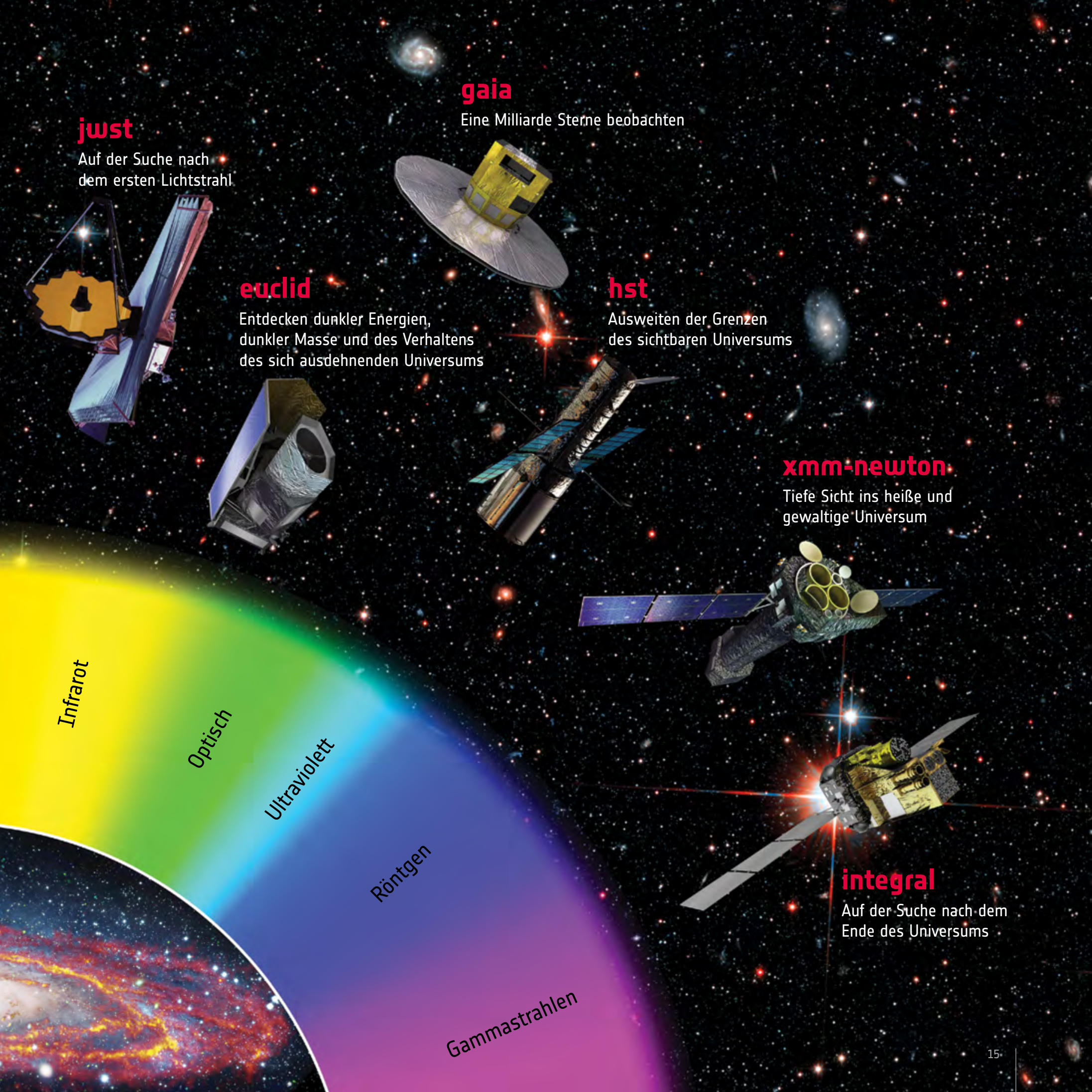
Das kühle und staubige Universum sichtbar machen

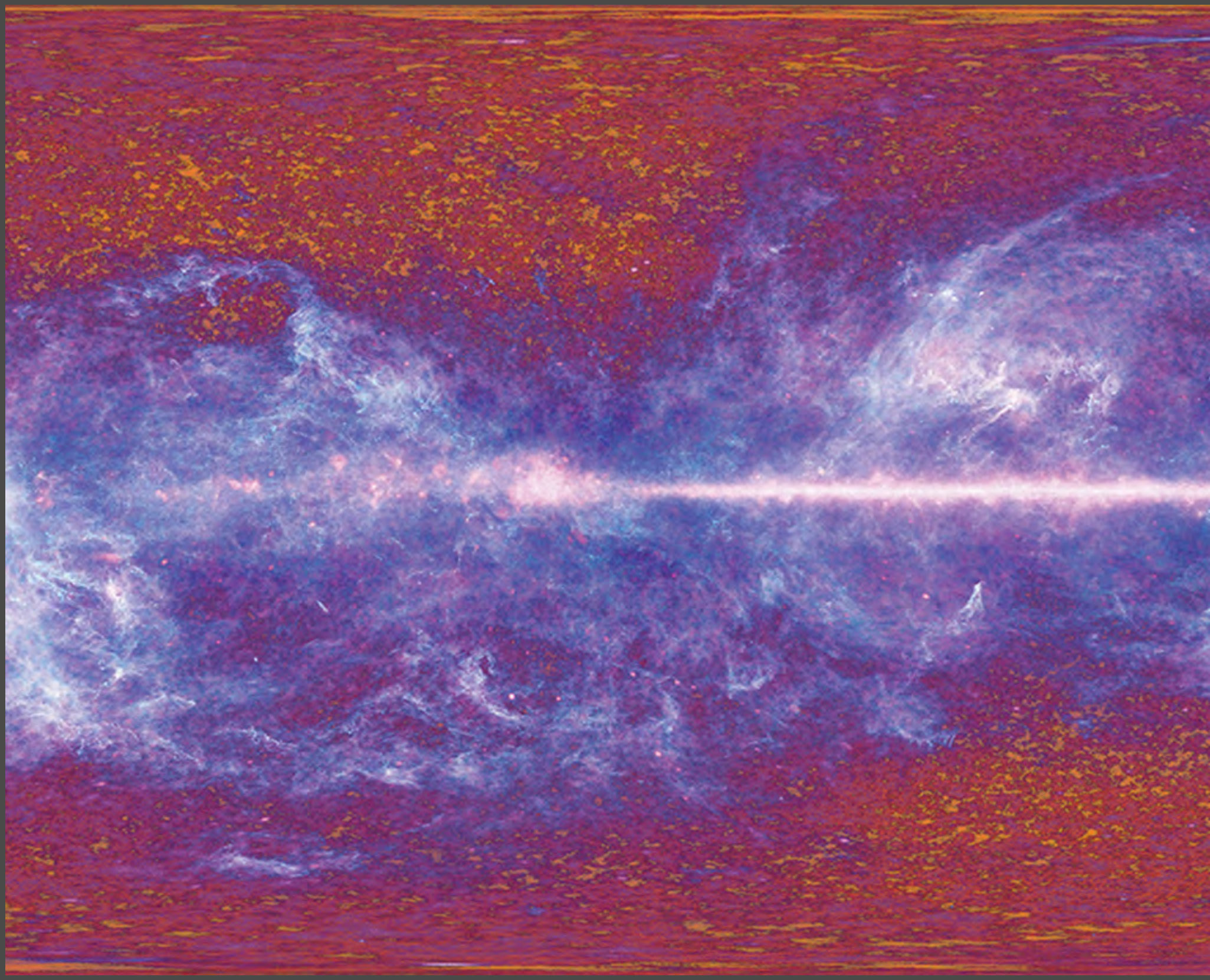
planck

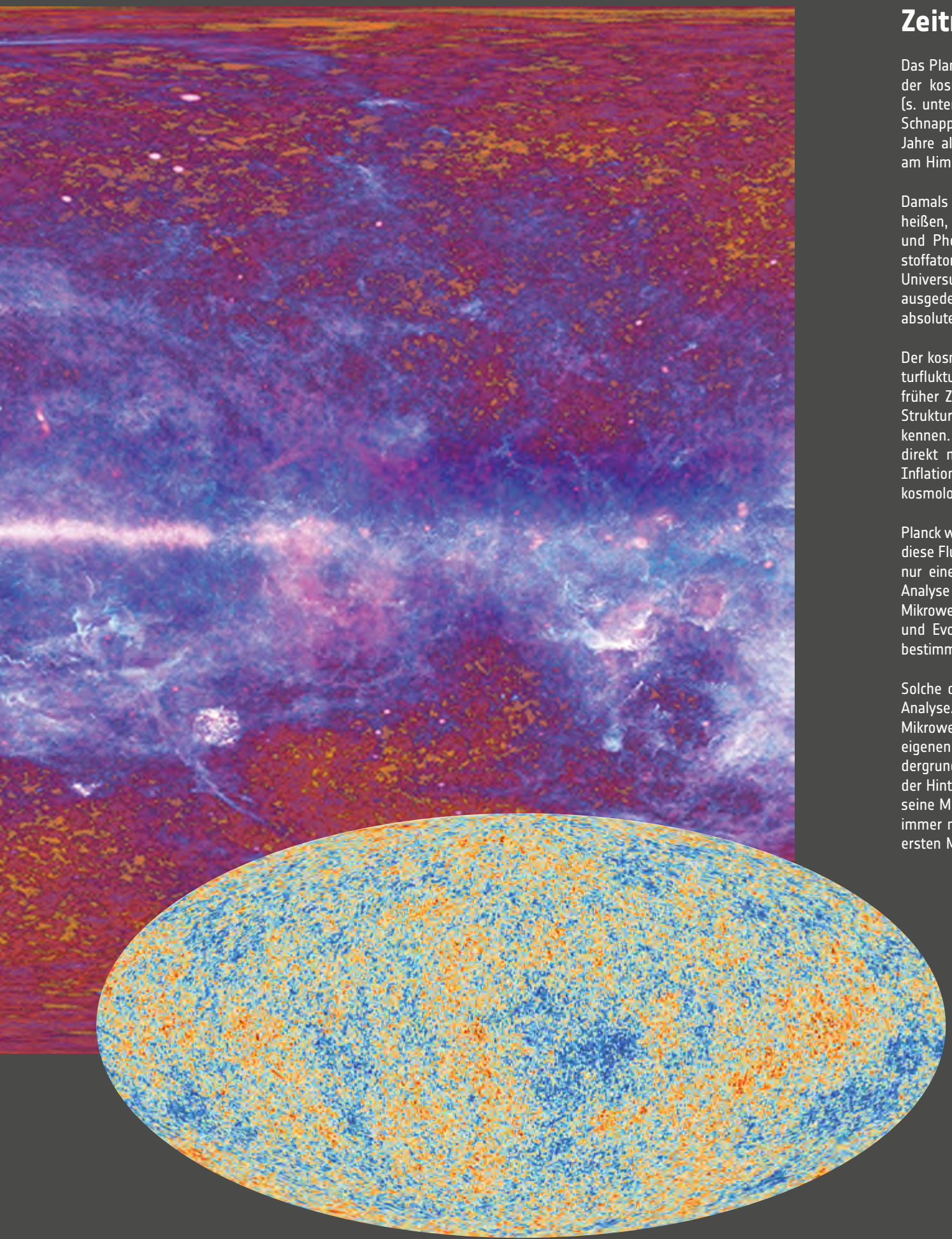
Zum Anbeginn der Zeit






jwst
Auf der Suche nach dem ersten Lichtstrahl
gaia
Eine Milliarde Sterne beobachten
euclid
Entdecken dunkler Energien, dunkler Masse und des Verhaltens des sich ausdehnenden Universums
hst
Ausweiten der Grenzen des sichtbaren Universums
xmm-newton
Tiefe Sicht ins heiße und gewaltige Universum
integral
Auf der Suche nach dem Ende des Universums
Infrarot
Optisch
Ultraviolett
Röntgen
Gammastrahlen





Zeitmaschine

Das Planck-Observatorium der ESA hat die detaillierteste Karte der kosmischen Hintergrundstrahlung im Mikrowellenbereich (s. unten), ein Relikt des Urknalls, erstellt. Dieses Bild ist ein Schnappschuss des ältesten Lichts in unserem 13,8-Milliarden-Jahre alten Universum, das 380.000 Jahre nach dem Urknall am Himmel sichtbar war.

Damals war das junge Universum angefüllt mit etwa 2700 °C heißen, untereinander wechselwirkenden Protonen, Elektronen und Photonen. Als diese Protonen und Elektronen Wasserstoffatome zu bilden begannen, entstand Licht. Als sich das Universum ausdehnte wurde das Licht auf Mikrowellenlänge ausgedehnt, bei einer Temperatur von nur 2,7 °C über dem absoluten Nullpunkt von –273 °C.

Der kosmische Mikrowellenhintergrund zeigt winzige Temperaturfluktuationen, die Regionen leicht unterschiedlicher Dichte in früher Zeit entsprechen, was dem Ursprung aller zukünftigen Strukturen entspricht: Sternen und Galaxien wie wir sie heute kennen. Die Wissenschaftler glauben, dass diese Fluktuationen direkt nach dem Urknall entstanden und während der als Inflation bekannten kurzen Zeit beschleunigter Expansion auf kosmologisch gesehen große Maßstäbe ausgedehnt wurden.

Planck war ausgelegt, mit höherer Auflösung und Empfindlichkeit diese Fluktuationen über den ganzen Himmel aufzuzeichnen, die nur einen kleinen Bruchteil eines Grades betragen. Durch die Analyse der Art und Verteilung der einzelnen Elemente in Plancks Mikrowellenbildern können Kosmologen die Zusammensetzung und Evolution des Universums von seiner Geburt bis heute bestimmen.

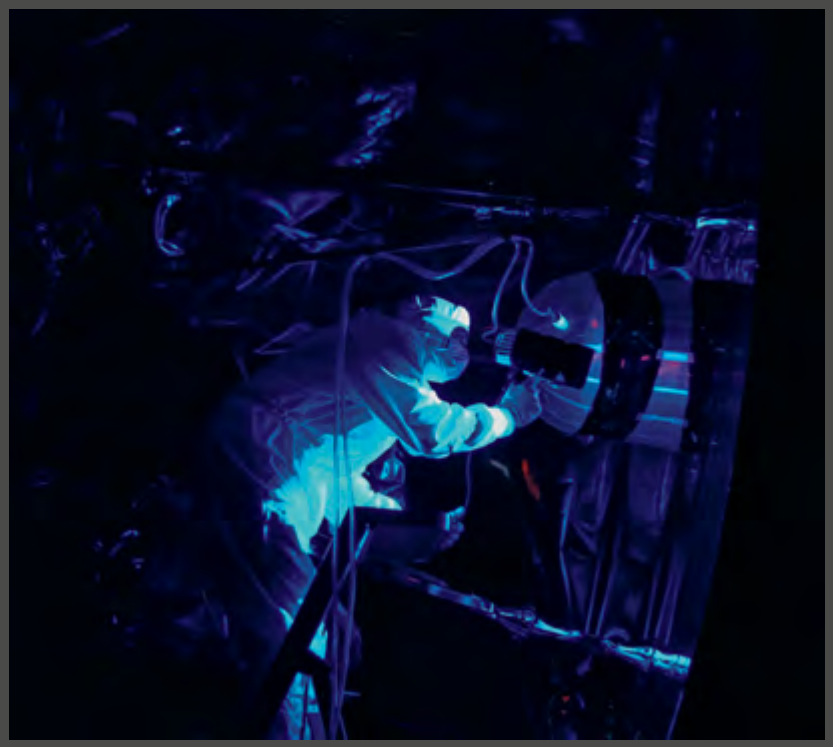
Solche detaillierten Informationen erforderten eine mühevolle Analyse. Das Bild links zeigt den gesprenkelten Hintergrund der Mikrowellenhintergrundstrahlung mit Gas und Staub unserer eigenen Milchstraße in der Mitte. All diese Emissionen im Vordergrund müssen entfernt werden, um die schwachen Signale der Hintergrundstrahlung sichtbar zu machen. Planck beendete seine Mission im Oktober 2013, aber die Daten werden derzeit immer noch analysiert, um noch mehr Informationen über die ersten Momente des Universums herauszufiltern.

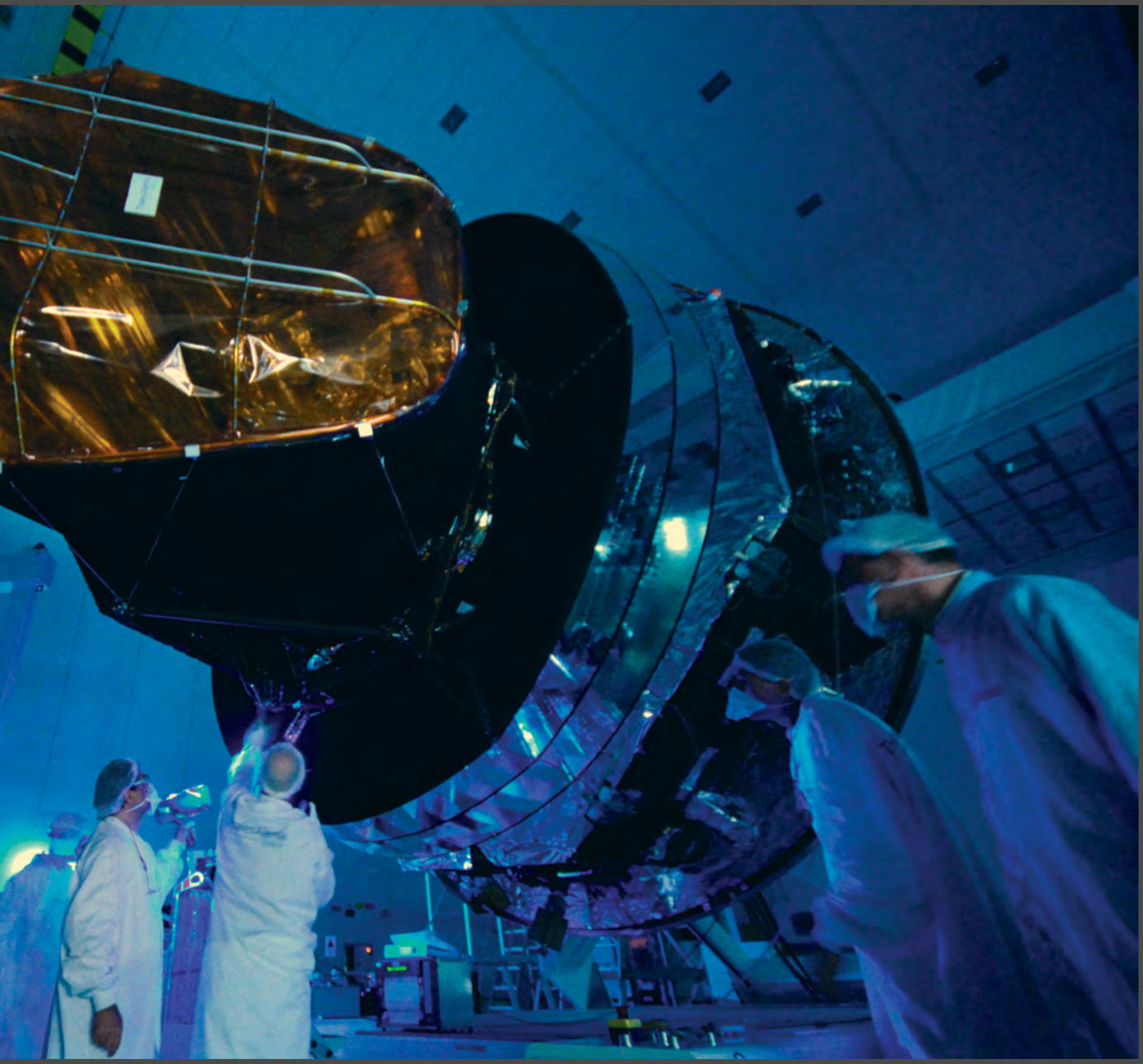
Reise bis zur Grenze des absoluten Nullpunkts

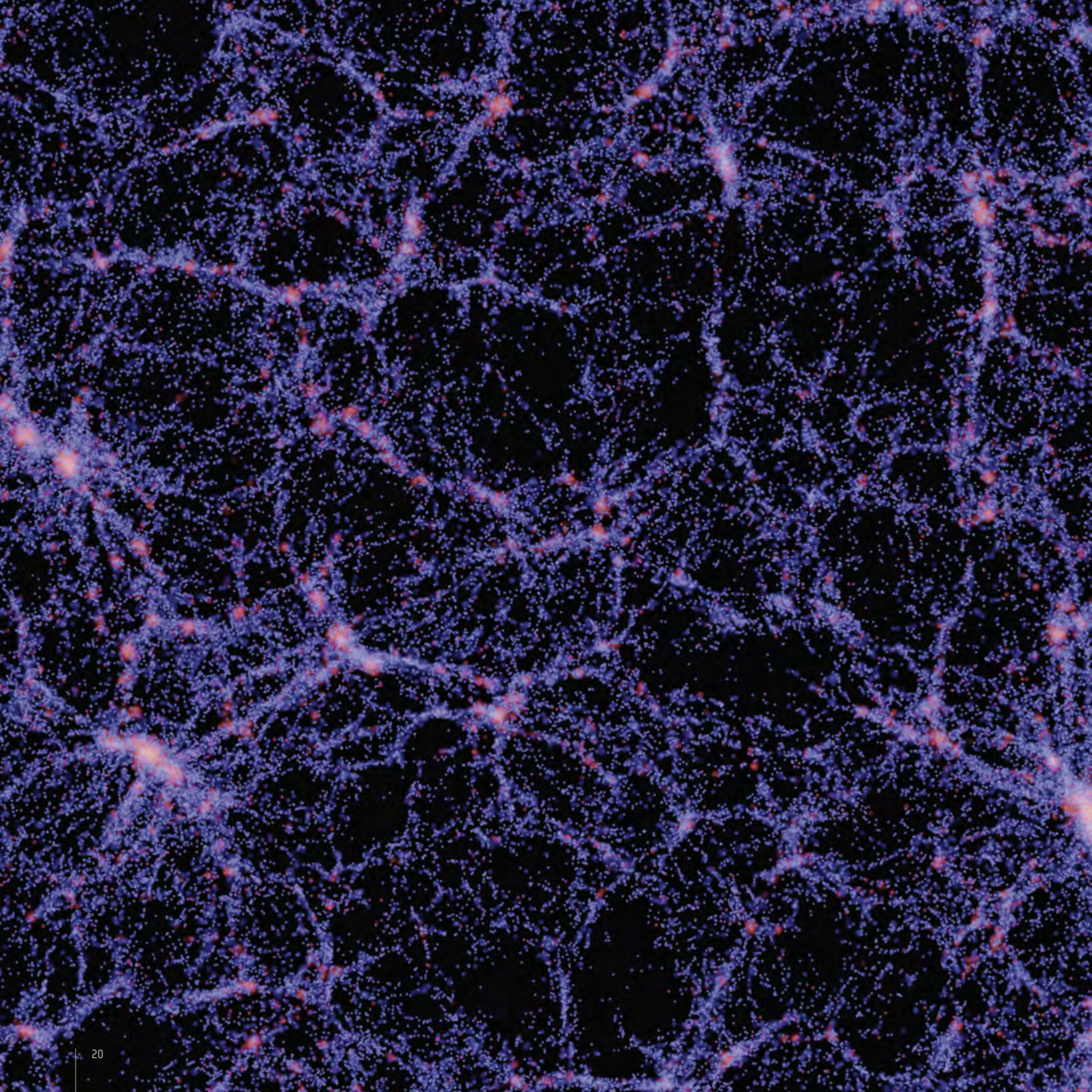
Das Planck-Observatorium der ESA wurde vor dem Start 2009 zusammen mit dem Herschel Weltraumteleskop auf Verunreinigungen untersucht. Planck war so bemerkenswert, da es die kältesten bauteil enthielt, die je ins Weltall geflogen wurden: Die Detektoren des Hochfrequenzinstruments wurden mit fortschrittlicher Kryotechnik auf nur ein Zehntel Grad vom absoluten Nullpunkt gebracht. Die extreme Betriebstemperatur war nötig, um die kältesten Bestandteile des Universums zu beobachten. Damit gemeint ist die kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung. Denn wäre der Detektor zu warm, würden die Resultate durch die Emissionen des Detektors selbst verfälscht.

Aber kein System reichte aus, um die Zieltemperatur von Planck in einem Schritt zu erreichen. Stattdessen nutzte das Raumschiff vier verschiedene Kühltechniken nacheinander, die wie russische Matrjoschka-Puppen ineinander geschachtelt waren. Jede davon brachte die Temperatur auf eine niedrigere Ebene, sodass das darauffolgende System übernehmen konnte. Der Prozess begann mit passiven Hitzeschilden, dann einem Paar geschlossener Gasexpansionskühler (einer auf Wasserstoff-, der andere auf Heliumbasis) und schließlich einem System, das die speziellen Eigenschaften von flüssigem Helium nutzt: die Verdampfung einer Mischung aus Helium-3- und Helium-4-Atomen kühlte den Rest. Es dauerte drei Monate, bis –273,05 °C erreicht waren, während Planck sich auf seine Beobachtungsposition auf 1,5 Millionen Kilometern Entfernung zur Erde bewegte.

Die verschiedenen Kühlmethoden haben sich bei Planck im Flug bewährt und sind nun für andere Missionen und Instrumente verfügbar, was die Leistung der Infrarot-Astronomie und bei Umweltsensoren verbessern wird.





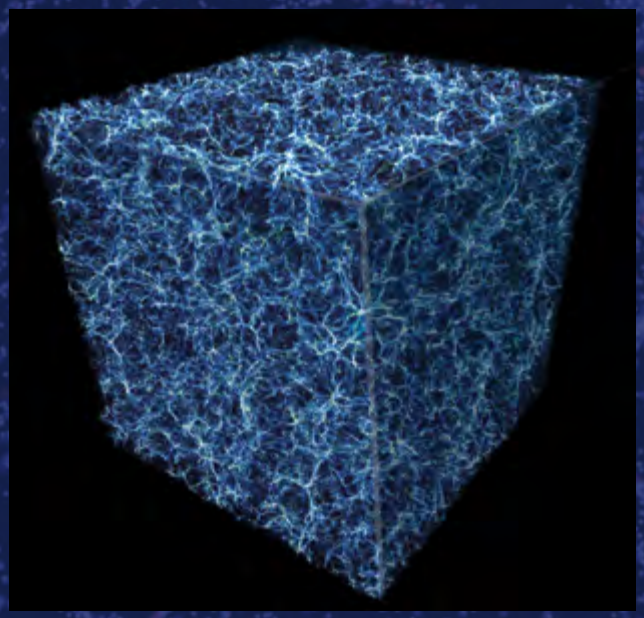


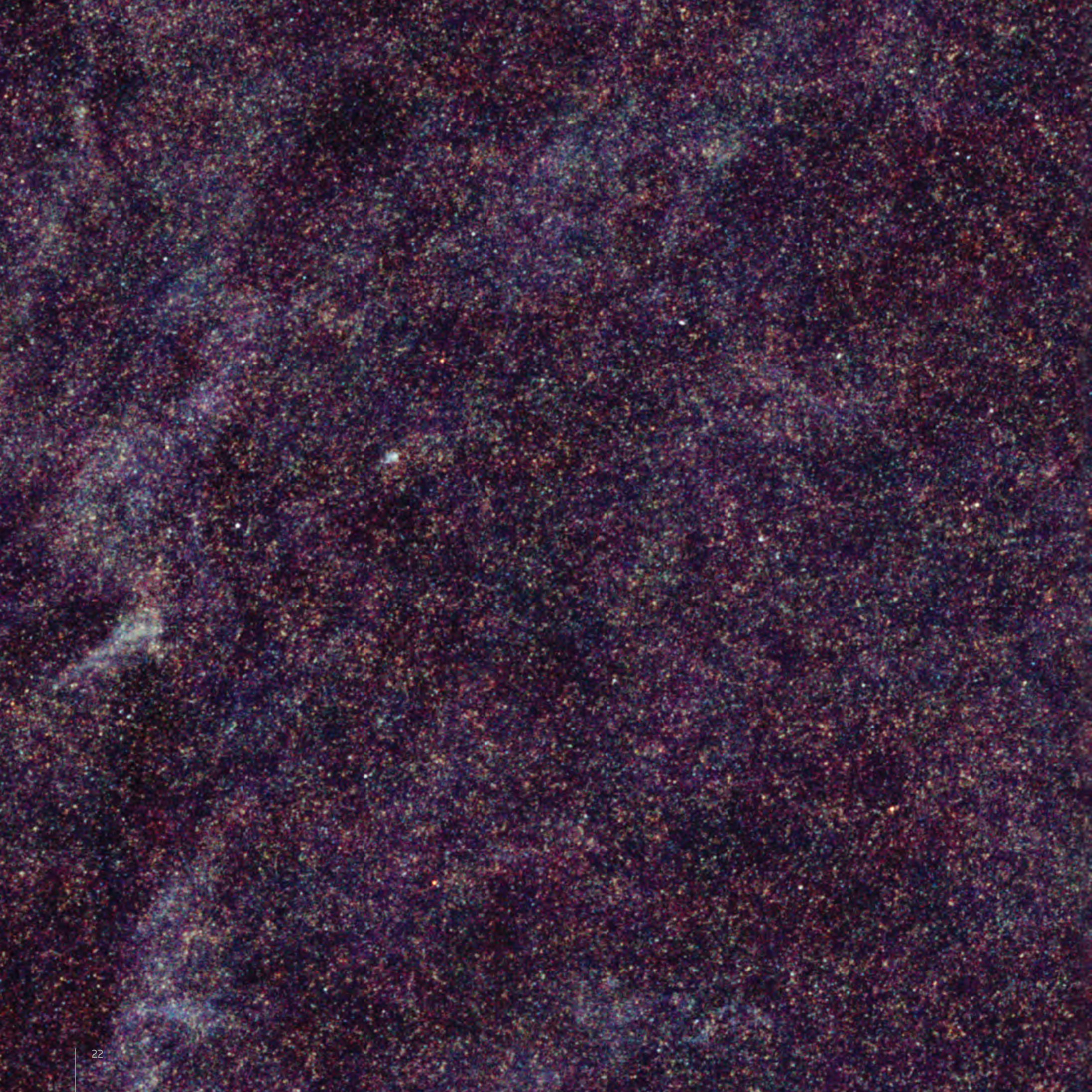
Eine Übersichtskarte

Dieses Bild, das aus den Feinheiten Computersimulation entstanden ist, zeigt unser bestes Verständnis der großflächigen Struktur der Materie im Universum. Es zeigt wie sich der neuentstandene Kosmos – sichtbar gemacht durch die kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung – in den 13 Milliarden Jahren nach dem Urknall entwickelt hat. Das extreme Verschmelzen von verbundenen Clustern und Superclustern von Galaxien mit Leerräumen dazwischen wird von der Schwerkraft angetrieben, die einerseits aus gewöhnlicher Materie, aus der auch wir bestehen, herrührt, aber nur ca 4 % der Energie im Universum ausmacht. Andererseits betsteht sie aus dunkler Materie, die wiederum nur mittels ihrer Gravitation ausgemacht werden kann, aber für 30 % der Energie im Universum steht. Der restliche, größte Teil des Energiebudgets im Universum wird der rätselhaften „dunklen Energie" zugeschrieben, die die aktuelle Beschleunigung der kosmischen Ausdehnung ausmacht.

Das Bild stammt aus der Millennium Simulation des Max Planck Institut für Astrophysik – einer Simulation eines Supercomputers des sich ausdehnenden Universums in einem Kubus mit zwei Milliarden Lichtjahren, wobei als Ursprung die kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung genommen wurde, die uns schon vor Planck bekannt war. Die Resultate von Planck werden die Resultate der nächsten Simulationen beträchtlich verbessern.

Euclid, die ESA-Mission mit geplantem Start 2020, wird die Resultate dieser Simulationen mit der beobachteten Realität vergleichen. Euclid misst für eine großangelegte Studie die Hälfte des Himmels in der Milchstraße über 10 Milliarden Lichtjahre, die nicht von Sternen und Wolken blockiert ist. Während der sechsjährigen Mission kartiert sie die Grobstruktur des Universums in 3D mit bisher unbekannter Genauigkeit. Die Evolution der Cluster in dunkler und sichtbarer Materie seit Beginn des Universums wird von dunkler Energie bestimmt, die uns Einblick in seine Eigenschaften ermöglicht. Euclid ermöglicht es Wissenschaftlern, eine präzise Karte der Materie im sichtbaren Universum herzustellen.





Galaxien wie Sandkörner

Ein Teil des tiefen Weltraums, das im sichtbaren Licht dunkel und leer aussieht, zeigt sich mit Herschel, der Schwestermission von Planck, ganz anders: Dabei handelt es sich um das größte Infrarot-Teleskop im Weltraum. Das Bild deckt ein Gebiet von ungefähr 70 Vollmonden ab. Beinahe alle der 6000 Lichtpunkte representieren eine komplette Galaxie voller neugeborener Sterne, viele davon abgedunkelt durch Staubwolken in optischen Wellenlängen, sichtbar gemacht im Infrarotbereich.

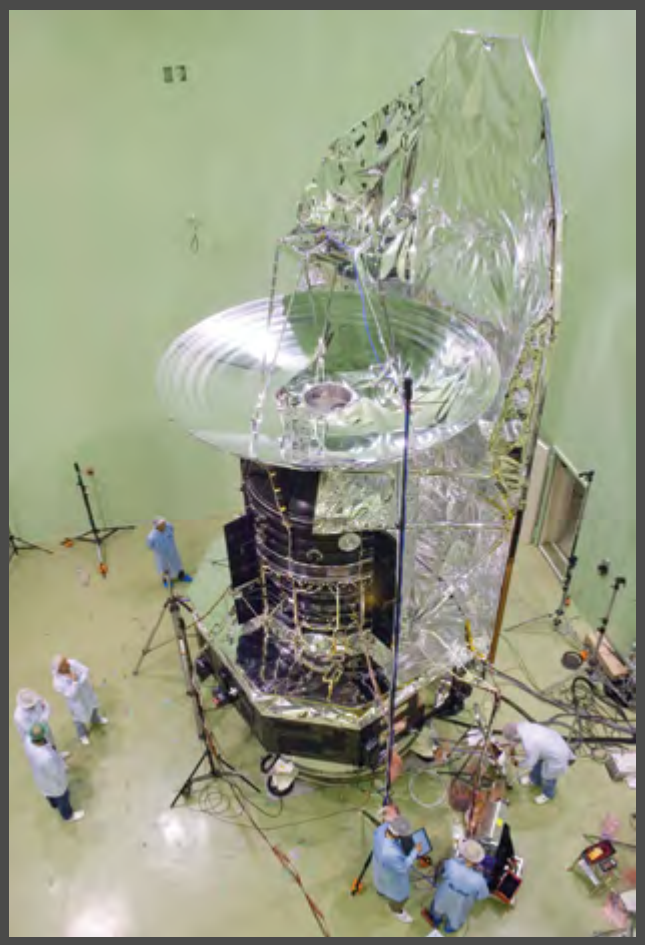
Einige der hier abgebildeten Galaxien liegen der unseren ziemlich nahe, andere hingegen entfernen sich immer mehr Raum und Zeit – sie liegen bis zu 12 Milliarden Jahre weg, was bedeutet, dass deren Licht schon zwei Milliarden Jahre nach dem Urknall abgegeben wurde. Die Helligkeit weist darauf hin, wie viele Sterne gebildet werden. Die Daten zeigen, dass je früher eine Galaxie entstand und je weiter entfernt sie liegt, desto mehr Sterne geboren werden. Unsere eigene Milchstraße produziert pro Jahr nur wenige Sterne, aber vor drei Milliarden Jahren lag die durchschnittliche Sternbildung etwa hundert Mal höher.

Dieses Bild aus 2010 ist Teil der Atlas-Studie von Herschel, die darauf abzielt, während der Laufzeit ungefähr ein Achtzigstel des Himmels zu beobachten, wobei ungefähr 250.000 Galaxien insgesamt aufgenommen werden.

Kalter Blick

Das Infrarot-Weltraumteleskop Herschel der ESA, das 2009 zusammen mit Planck gestartet wurde, weist den größten einteiligen Spiegel auf, der je in den Weltraum geflogen wurde. Mit 3,5 m Durchmesser verfügte es so über die doppelte Empfangsfläche verglichen mit dem Weltraumteleskop Hubble, weist aber nur ein Drittel der Masse auf. Während Hubbles Hauptspiegel aus Glas gefertigt wurde, war Herschels aus einem neuen Material: Siliciumcarbidkeramik, das ursprünglich für synthetische Diamanten entwickelt wurde. Er besteht aus 12 verlöteten Segmenten und wiegt nur 300 kg, was bei einem dem Hubble ähnlichen Spiegel zu einem Gewicht von 1,5 Tonnen geführt hätte.

Neben der hohen Festigkeit und Steifigkeit ist Siliciumcarbid gegenüber Temperaturverformungen ziemlich immun. Dies ist sehr wichtig, da Herschel bei sehr niedrigen Temperaturen arbeitete. Herschel studierte kalte Objekte, die Wärme und nicht Licht abgeben, weshalb die Detektoren bei Temperaturen von –271 °C oder darunter arbeiten mussten. Bei höheren Temperaturen hätten sie selber Infrarotstrahlung abgeben, was die schwachen Emissionen der Objekte verfälschen würde. Im Gegensatz zum Kühlsystem von Planck arbeitete Herschel hingegen mit einer anfänglichen Menge von 2300 Litern suprafluidem Helium, das langsam verdampfte, sowie zusätzlichen Instrumentenkühlern. Dieser Kryostat hielt die Temperatur des Satelliten konstant, fast so wie der menschliche Körper den Schweiß nutzt, um die Haut zu kühlen. Dies bedeutete, dass Herschels Lebensdauer begrenzt war: Die Mission im kalten Weltraum endete im April 2013.



esa
4

Entstehungsschritte

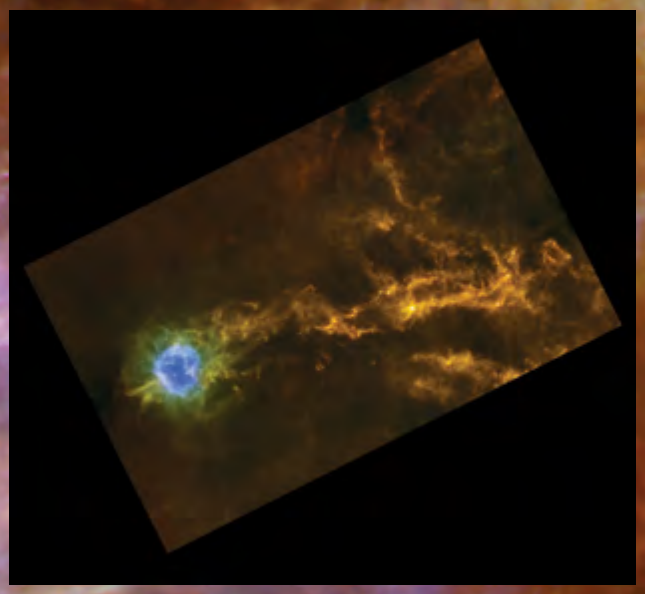
Stehen Chaotische Netzwerke aus Staub und Gas kennzeichnen die zukünftigen Generationen von Riesensternen aus dem stellaren Kindergarten Cygnus-X, hier aufgenommen von Herschel. Cygnus-X ist eine besonders aktive Gegend, in der große Sterne in einer Entfernung von 4500 Lichtjahren von der Erde in der Konstellation des Cygnus, des Schwans, entstehen.

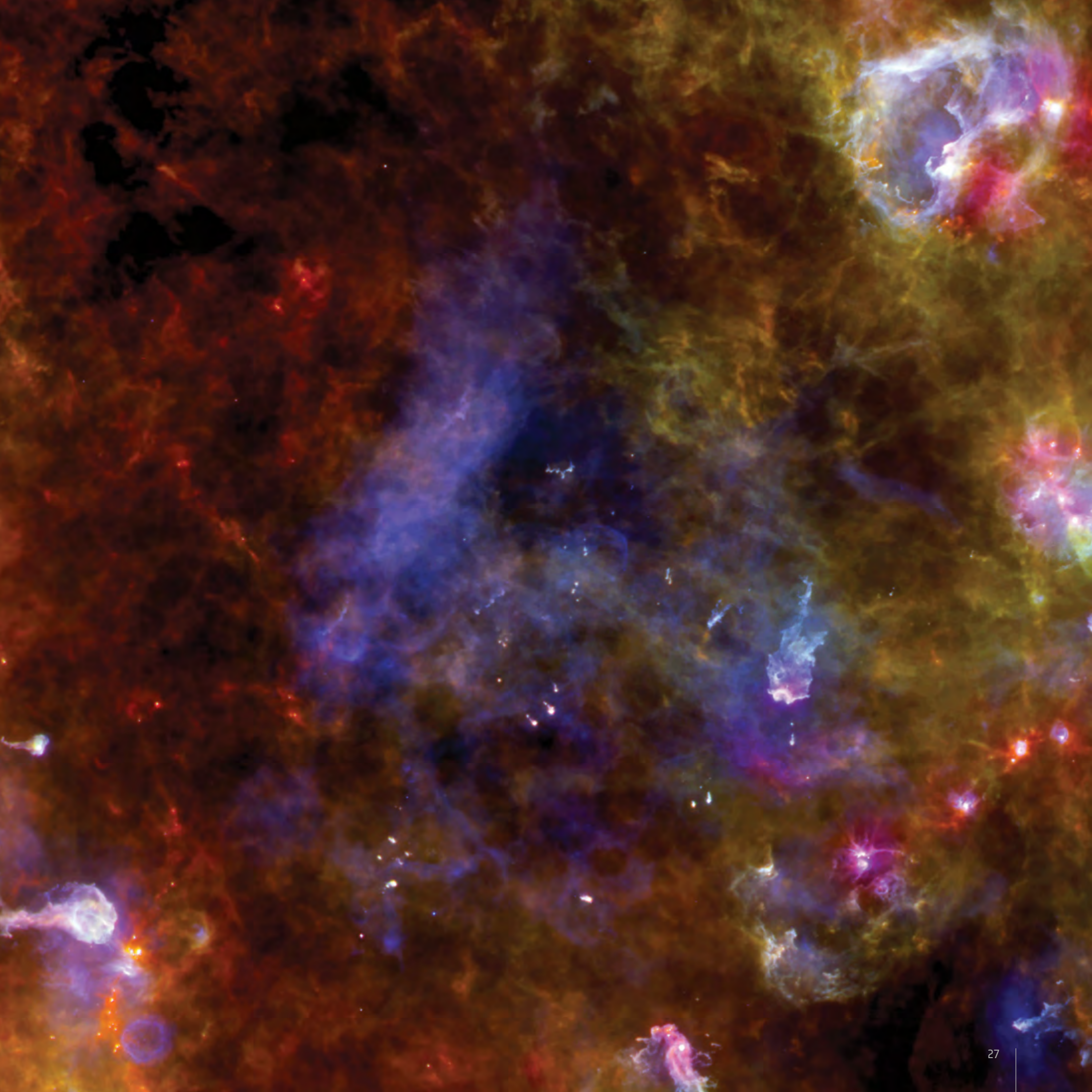
Mit Herschels Augen im tiefen Infrarotbereich konnten Astronomen die Bereiche untersuchen, in denen der Staub langsam von Sternen erwärmt wird, was sie auf dichte Gasklumpen aufmerksam macht, in denen sich neue Sterngenerationen bilden. Helle, weiße Bereiche zeigen Gegenden, in denen aus turbulenten Wolken erst kürzlich Sterne entstanden sind.

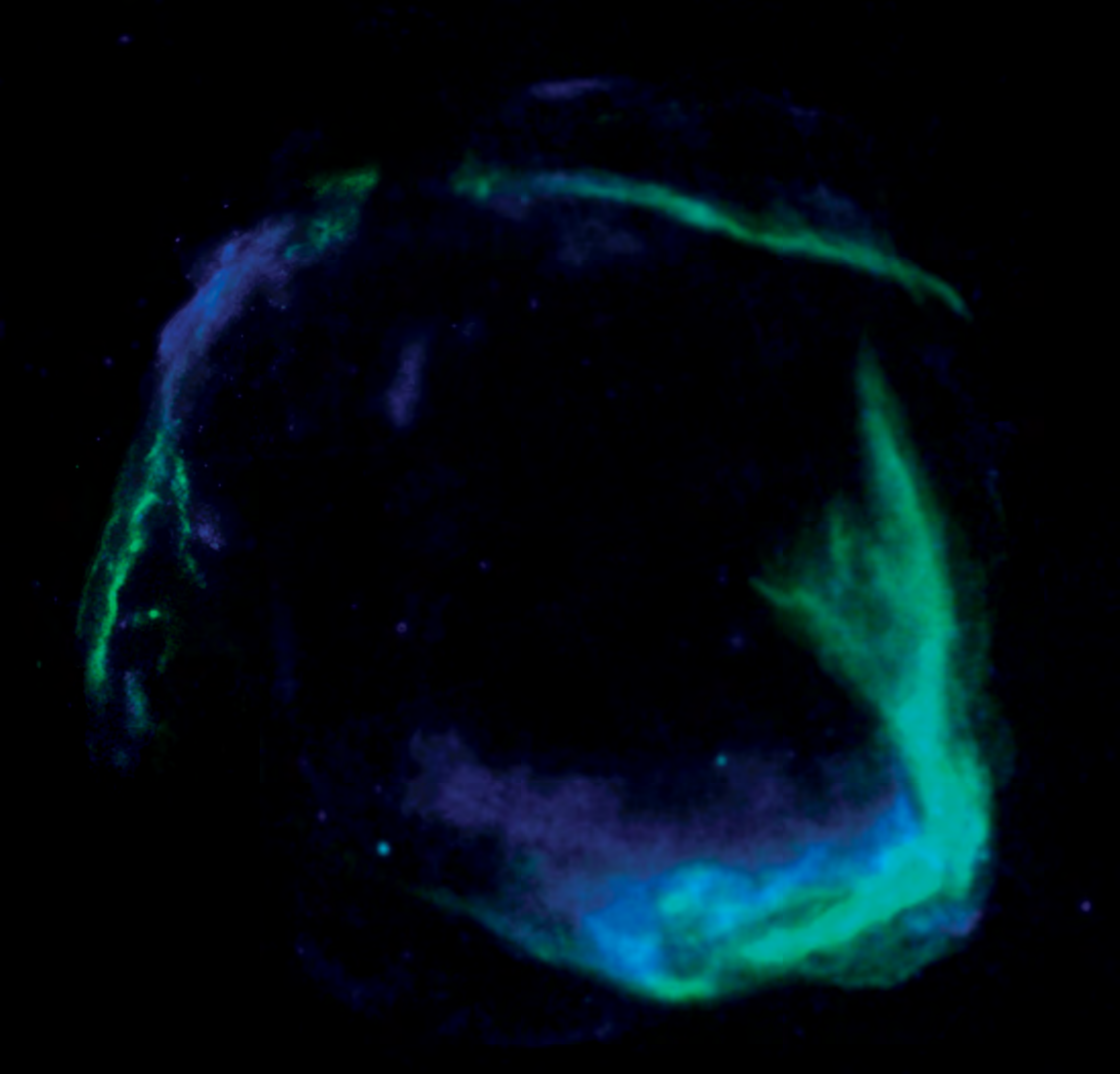
Hier zeigen dicke Gas- und Staubknoten die Schnittstellen, wo Staubfäden zusammenlaufen und neue Sterne bilden sowie blasenartige Strukturen durch ihre immense Strahlung ausgehöhlt werden. In der Mitte rechts des Bildes haben die Strahlung und die starken Sternwinde, die beiden von Herschel verwendeten Wellenlängen nicht aufgenommen konnten, teilweise interstellare Materie reduziert und erhitzt, die hier blau leuchtet. Links ist eine Gassäule zu sehen.

Herschel war das erste Observatorium, das das gesamte Spektrum von fernem Infrarot- bis hin zu Submillimeter-Wellenlängen abdeckt und die beiden miteinander verbindet. Im Infrarotbereich reicht es weiter als alle vorherigen Missionen, damit der sonst unsichtbare staubige und kalte Teil des Kosmos, im Nah- und Fernbereich, sichtbar gemacht werden kann.

Das Bild zeigt einen Gasfaden im Herzen des Kokon-Nebels, der durch seine Staubemission gekennzeichnet ist. Herschel hat gezeigt, dass unabhängig von der Länge und Dichte eines Staubfadens, die Breite immer ungefähr gleich ist: Sie liegt bei ungefähr 0,3 Lichtjahren oder ungefähr 20.000 Mal der Distanz zwischen Erde und Sonne. Hunderte neuer Sterne liegen wohl in solchen Staubfäden.







Ein Geist aus Röntgenstrahlen

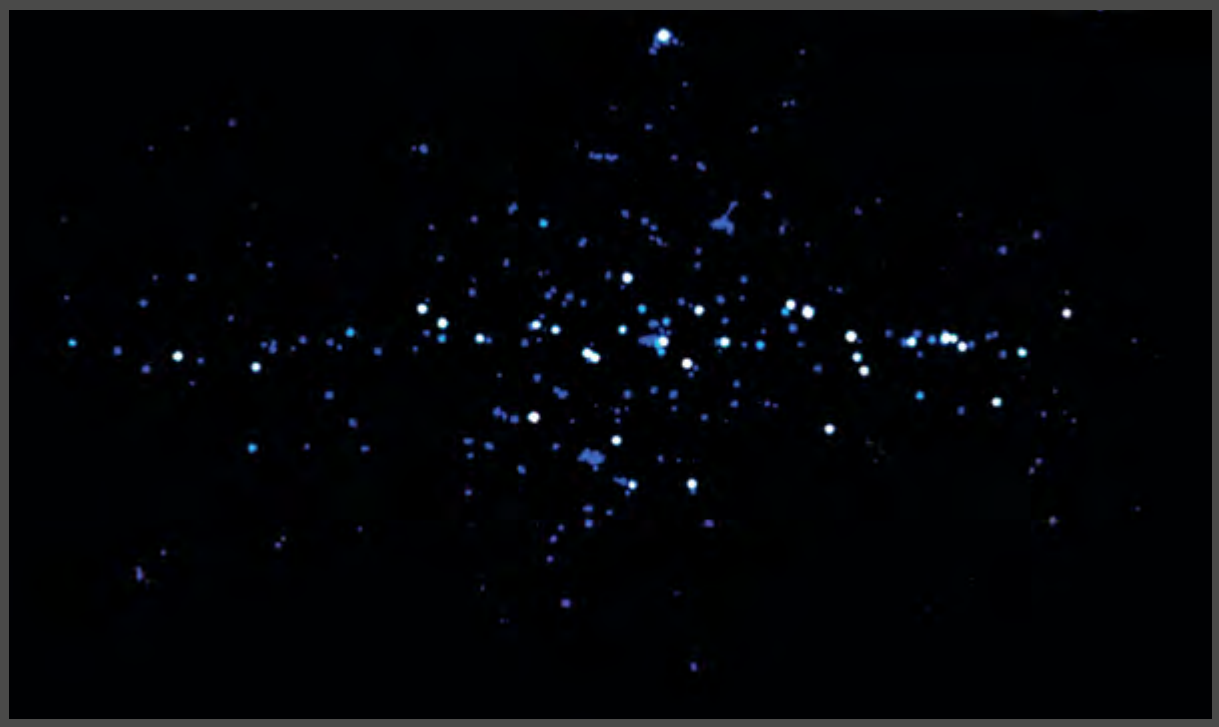
Ein Leuchten aus Röntgenstrahlen, geisterhafte Überbleibsel von RCW 86, der ersten von Astronomen aufgezeichneten Supernova, die vom XMM-Newton-Observatorium der ESA und des Chandra-Röntgen-Observatoriums der NASA gemeinsam sichtbar gemacht wurde. Die Chinesen konnten dieses Ereignis 185 n. Chr. sehen, wobei von einem rätselhaften „Gaststern" die Rede war, der während acht Monaten am Himmel leuchtete. Die Röntgenstrahlen machen interstellares Gas sichtbar, das auf Millionen Grad erhitzt wurde, als es die Schockwelle der Supernova erreichte.

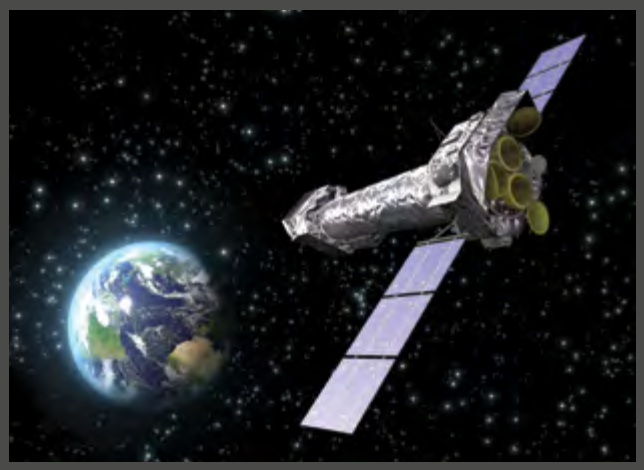
Das Bild links zeigt einen jungen Pulsar (ein sich schnell drehender, extrem dichter Stern) aus gemeinsamen Daten von XMM-Newton und Chandra mit optischer Bildgebung neben einem Überbleibsel aus einer Supernova in der kleinen Magellanschen Wolke, einer uns benachbarten Zwerggalaxie.

Beim Beobachten des Himmels im höheren Energiebereich wird ein gewaltiges Universum mit explodierenden Sternen, Schwarzen Löchern und Leuchtgaswolken sichtbar. Mit Temperaturen im Bereich von Millionen von Graden leuchten solche hochenergetischen Objekte auf Röntgenstrahl-Wellenlänge, nicht aber im sichtbaren Bereich.

Die hochenergetischen Röntgenstrahlen werden nur bei flachen Winkeln reflektiert. Während das sichtbare Licht von einem Spiegel wie ein Gummiball reflektiert wird, funktionieren Röntgenstrahlen eher wie ein Stein, der übers Wasser hüpft. Die Teleskopspiegel müssen also seitlich gerichtet sein. XMM-Newton nutzt mehr als 250 vergoldete Nickelspiegel.

Integral, das Observatorium der ESA für harte Röntgenstrahlung- und weiche Gammastrahlung, verbindet den Energiebereich, der von XMM-Newton und Chandra beobachtet wird, mit den Hochenergie-Gammastrahlenobservatorien im Weltraum und am Boden. Mit der optischen Kamera und den Hochenergiedetektoren kann Integral gleichzeitig Objekte in den Gammastrahlungs- und Röntgenstrahlungsbereichen sowie im Bereich sichtbaren Lichts beobachten. Mit der einmaligen Fähigkeit die Kernsynthese (die Produktion neuer Atomkerne) in unserer Galaxie zu betrachten, sind die Ziele von Integral ein breites Band von hochenergetischen astrophysischen Blitzen und Gammablitzen, gewaltige Explosionen am Rande des sichtbaren Universums, sowie nähere Ziele wie diese harte Röntgenstrahl-Studie der Milchstraße (links unten).





Leben und Sterben von Sternen

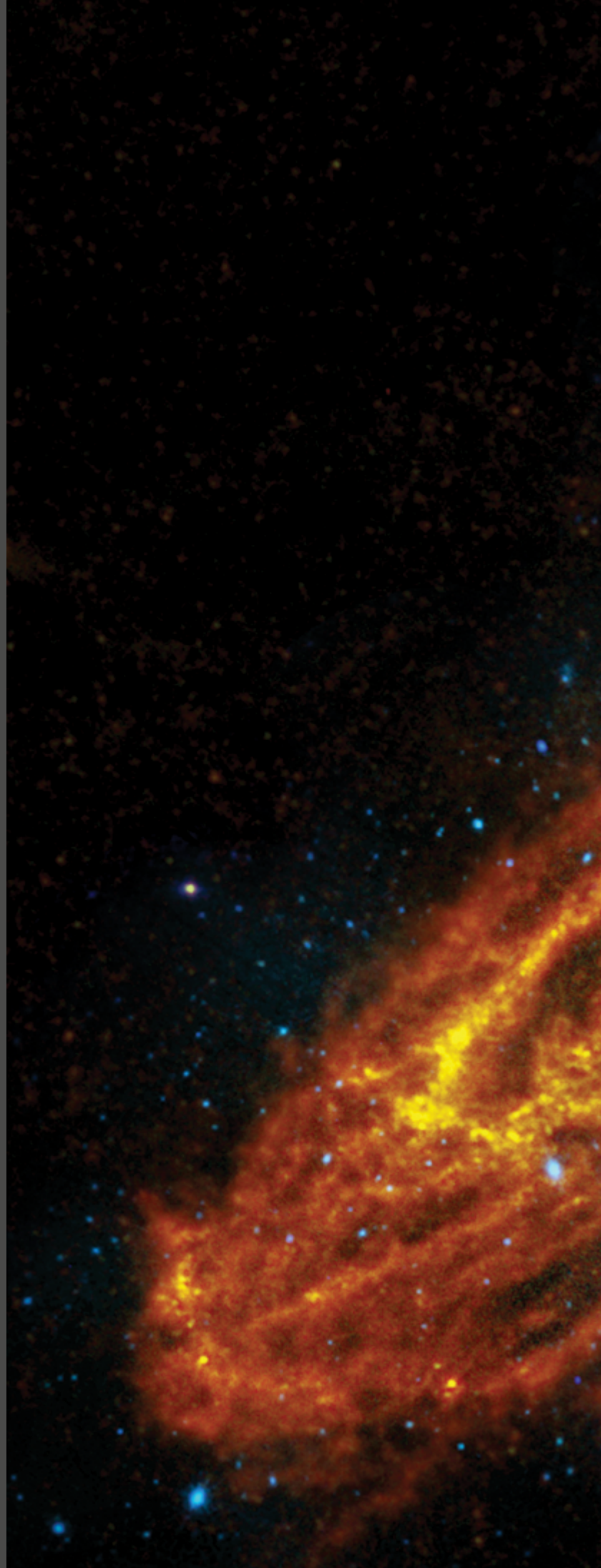
Die Kombination der ESA-Weltraumobservatorien macht die Perspektiven sogar noch reichhaltiger. Diese Detailansicht der M31 Andromeda-Galaxie, die unserer Milchstraße sehr ähnlich ist, stammt von Herschel und XMM-Newton zusammen. Herschel (orange) sieht Ringe neugeborener Sterne, während XMM-Newton (blau) die sterbenden Sterne abbildet, die Röntgenstrahlen ins Weltall schicken.

Empfindlich für fernes Infrarotlicht fand Herschel Wolken aus kalten Staub und Gas, wo sich Sterne bilden. In diesen Wolken gibt es viele staubige Kokons mit sich entwickelnden Sternen, die sich einzeln langsam mittels der Gravitation zusammenziehen, was hunderte Millionen Jahre dauern kann. Ist ein Stern dicht genug, beginnt er in sichtbarem Licht zu strahlen und kommt aus der Geburtswolke: Jetzt ist er für normale Teleskope sichtbar. Herschel sah mindestens fünf konzentrische Ringe mit sternbildendem Gas, die durch den Staub sichtbar gemacht werden: möglicherweise Folgen einer Kollision mit einer anderen Galaxie.

Über dem Infrarotbild liegt die beinahe-simultane Röntgenansicht von XMM-Newton. Während die Infrarotstrahlen den Anfang von Sternen zeigen, sind Röntgenstrahlen Anzeichen für deren Ende, wobei die optischen Bildgebungsverfahren die Sterne so zeigen, wie sie während der größten Zeit ihres Lebens sind: Das beste Beispiel dafür ist unsere Sonne.

XMM-Newton macht hunderte von Röntgenstrahlquellen in Andromeda aus, viele davon in der Mitte gebündelt. Einige dieser Schockwellen und Trümmer stammen von explodierten Sternen, andere sind Sternpaare, die in einem Gravitationskampf um ihren Tod ringen.

In diesen tödlichen Umarmungen ist ein Stern schon tot und entzeiht seinem lebendigen Kollegen Gas. Während das Gas durch das All zieht, heizt es sich um Millionen Grade auf und strahlt Röntgenstrahlen aus. Der lebendige Stern wird bald ganz nackt sein, wobei seine ganze Masse von seinem stärkeren, dichteren Partner absorbiert worden ist. Wenn der stellare Körper sich mit dem gestohlenen Gas umhüllt, kann er sogar selber explodieren.



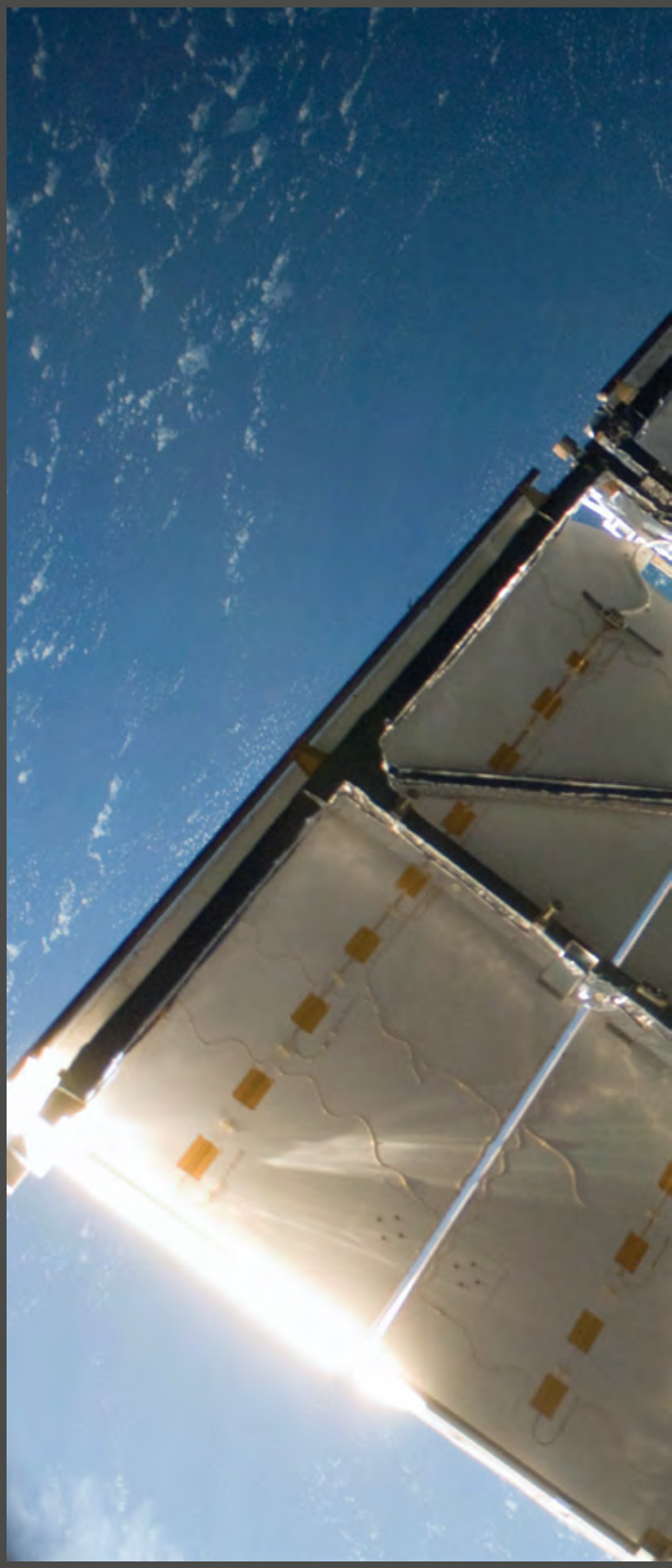
Hubbles Universum

Mehr als alle anderen Raumfahrtmissionen hat das Hubble-Weltraumteleskop, als Resultat der Zusammenarbeit zwischen der NASA und der ESA, die Art verändert, wie wir das Universum sehen. Es gibt viele größere optische Teleskope als Hubbles mit seinem Spiegel von 2,4 m Durchmesser, aber es ist das einzige, das außerhalb des verfälschenden Einflusses der Erdatmosphäre betrieben wird. Ende 2011 wurde der zehntausendste wissenschaftliche Beitrag mit Hubbles Resultaten publiziert.

Die ESA stieß 1977 zu diesem Projekt, um 15 % der Beobachtungszeit von Hubble zu erhalten, was sich als ausgezeichnetes Schnäppchen herausstellte. Im Gegenzug trug die Agentur zur *Faint Object Camera* bei und entwickelte und baute die Solargeneratoren von Hubble. Gleichzeitig steuerte sie wissenschaftliche und technische Unterstützung während des Betriebes bei.

Hubble ist seit 1990 in Betrieb und wurde regelmäßig von Space Shuttle-Astronauten überholt, die Instrumente und andere Komponenten in fünf Wartungsflügen austauschten, wobei die beiden ESA-Astronauten Claude Nicollier und Jean-François Clervoy bei zwei Missionen eine wichtige Rolle spielten. Die US-Astronauten John Grunsfeld (links) und Andrew Feustel sind hier während der letzten Wartungsmission 2009 abgebildet. Während die aktuellen Hubble-Solargeneratoren aus den USA stammen, ist der wichtige Antriebsmechanismus und die Elektronik, die sie zur Sonne ausrichtet, immer noch europäisch. Die ESA hat 15 Wissenschaftler im Space Telescope Science Institute, dem für den wissenschaftlichen Betrieb von Hubble verantwortlichen Zentrum, während die ESA-Ingenieure bei allen Hubble-Wartungsmissionen ihren Beitrag leisteten.

Jetzt wo die Shuttle-Ära vorbei und Hubble so leistungsfähig wie noch nie ist, besteht die letzte Wartungsmission des Weltraumteleskops darin, dass wahrscheinlich ein Roboter einen Antrieb anbringt, um das altgediente Weltraumobservatorium in einigen Jahren langsam aus der Erdumlaufbahn zu bringen.



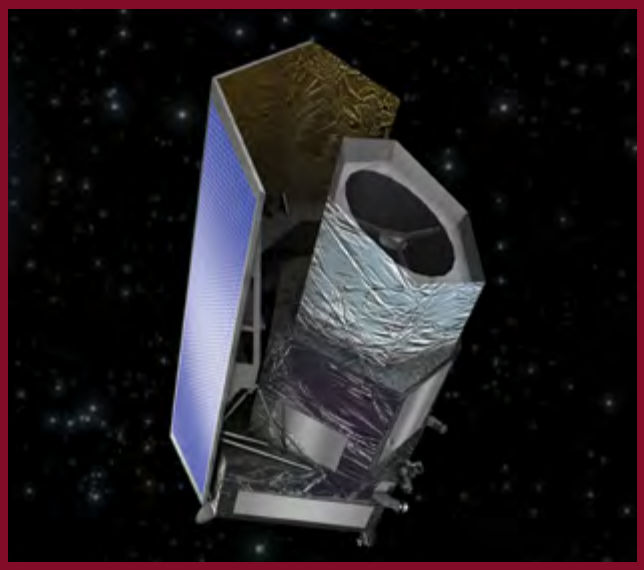
Dunkle Materie, direkt vor uns und dennoch verborgen

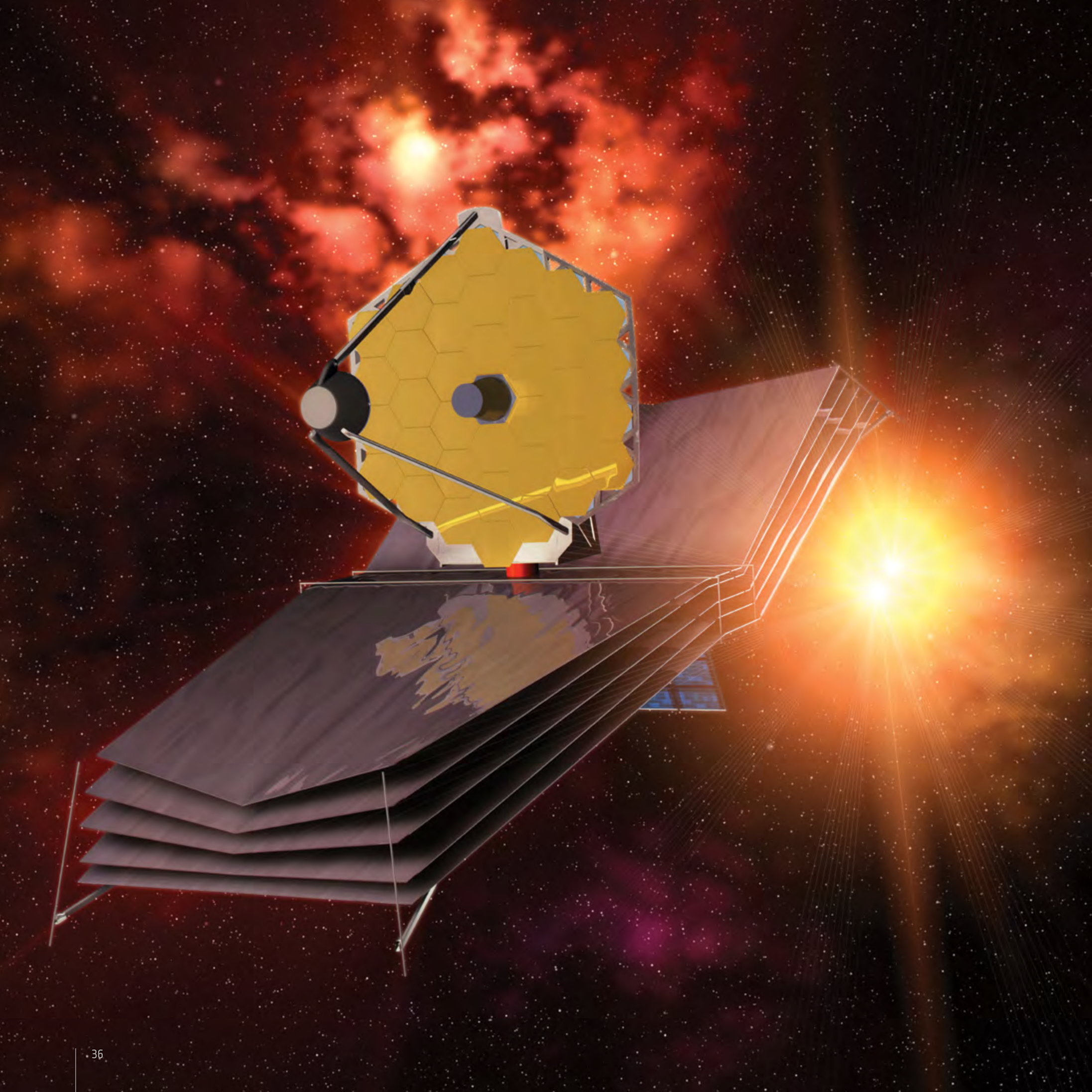
Dieses Hubble-Bild zeigt die unsichtbare Präsenz dunkler Materie im Galaxienhaufen MACS J1206.2-0847. Ungefähr 4,5 Milliarden Lichtjahre entfernt im Sternzeichen Jungfrau, wurden diese Galaxien durch ihre gegenseitige Anziehungskraft und der dunkler Materie zusammengezogen. Das Gravitationsfeld des Haufens ist so intensiv, dass es die Lichtstrahlen von fernen Galaxien verbiegt und sie in runden Mustern in der Mitte zusammenführt.

Dunkle Materie macht den größten Teil der Masse des Universums aus (ungefähr fünf Mal mehr als sichtbare Masse), aber sie kann nur sichtbar gemacht werden, indem gemessen wird, wie die Anziehungskraft die sichtbare Materie anzieht, den Raum wie in einem Spiegelkabinett krümmt und das Licht von entfernten Objekten verzerrt. Galaxienhaufen wie MACS 1206 sind perfekte Laboratorien zum Untersuchen der Anziehungskraft dunkler Materie, da sie die massivsten Strukturen im Universum sind. Aufgrund ihrer Größe agieren die Cluster wie riesige kosmische Linsen, die das durchtretende Licht vergrößern, krümmen und verzerren. Dies wird als Gravitationslinseneffekt bezeichnet.

Dieser Cluster war ein erstes Ziel in einer Untersuchung, die es Astronomen ermöglicht, äußerst detaillierte Karten dunkler Materie weiterer Galaxienhaufen zu erschaffen. Diese Karten werden so genau sein wie noch nie und gehören mit Hubble zum Projekt *Cluster Lensing And Supernova Survey*, kurz CLASH.

Die Euclid-Mission der ESA wird das gleiche Phänomen in größerem Maßstab untersuchen, wobei ein leichterer Lichtkrümmungseffekt mit dem schwachen Gravitationslinseneffekt untersucht wird, dies am ganzen Himmel, um eine verlässliche Abschätzung nicht nur der Verteilung dunkler Materie im Universum sondern auch der geheimnisvollen dunklen Energie zu erhalten, die es immer schneller auseinanderzieht. Wie diese Verteilung sich entwickelte, gibt uns Informationen zu den Eigenschaften von dunkler Materie und dunkler Energie.





Suche nach den ersten Sternen

Die NASA und ESA zusammen mit der Kanadischen Raumfahrtagentur (CSA) erweitern die Hubble-Partnerschaft auf das neuere, viel größere *James Webb Space Telescope* (JWST), das 2018 mit einer Ariane 5 in die Umlaufbahn gelangen wird. Der 6,5 Meter breite Hauptspiegel weist eine sieben Mal größere Fläche auf als Hubble, womit das Teleskop noch viel sensibler sein wird.

Mit einem Abstand von 1,5 Millionen Kilometern von der Erde wird JWST die schwächsten Sterne und Galaxien im Infrarotbereich beobachten. Hinter dem mehrlagigen Sonnenschild in der Größe eines Tennisplatzes wird JWST bei –220 °C betrieben, um im Infrarotbereich optimale Leistung zu bieten. Je weiter Objekte von uns entfernt sind, desto schneller bewegen sie sich, weshalb ihr Licht aus dem ultravioletten und sichtbaren Bereich beinahe in den Infrarotbereich wechselt. Dies bedeutet, dass wir dazu ein Infrarot-Teleskop benötigen,wenn wir Objekte studieren wollen, die im Universum weiterentfernt sind.

Eines der Hauptziele von JWST ist es, die erste Generation von Sternen zu finden, die sich nach der Erstehung des Universums gebildet hat und viel größer ist als Sterne, die heute entstehen. Solche Sternriesen sind aus Wasserstoff und Helium – die einzigen Elemente, die nach dem Urknall vor 14 Milliarden Jahren existierten – wobei sie wie kosmische Hochöfen funktionierten, die alle schwereren Elemente für spätere Generationen von Sternen und Galaxien formten, inklusive aller unserer Rohstoffe. Eine plausible Theorie ist, dass die explodierenden Gammastrahlenausbrüche die kurz sichtbaren Todeszeugen dieser ersten Sterne sind.

Webb-Design

Die letzten sechs Teile des Spiegels des James Webb Space Telescopes werden 2011 im Marshall Space Flight Center der NASA in Alabama bei extrem kalten Temperaturen getestet (oben).

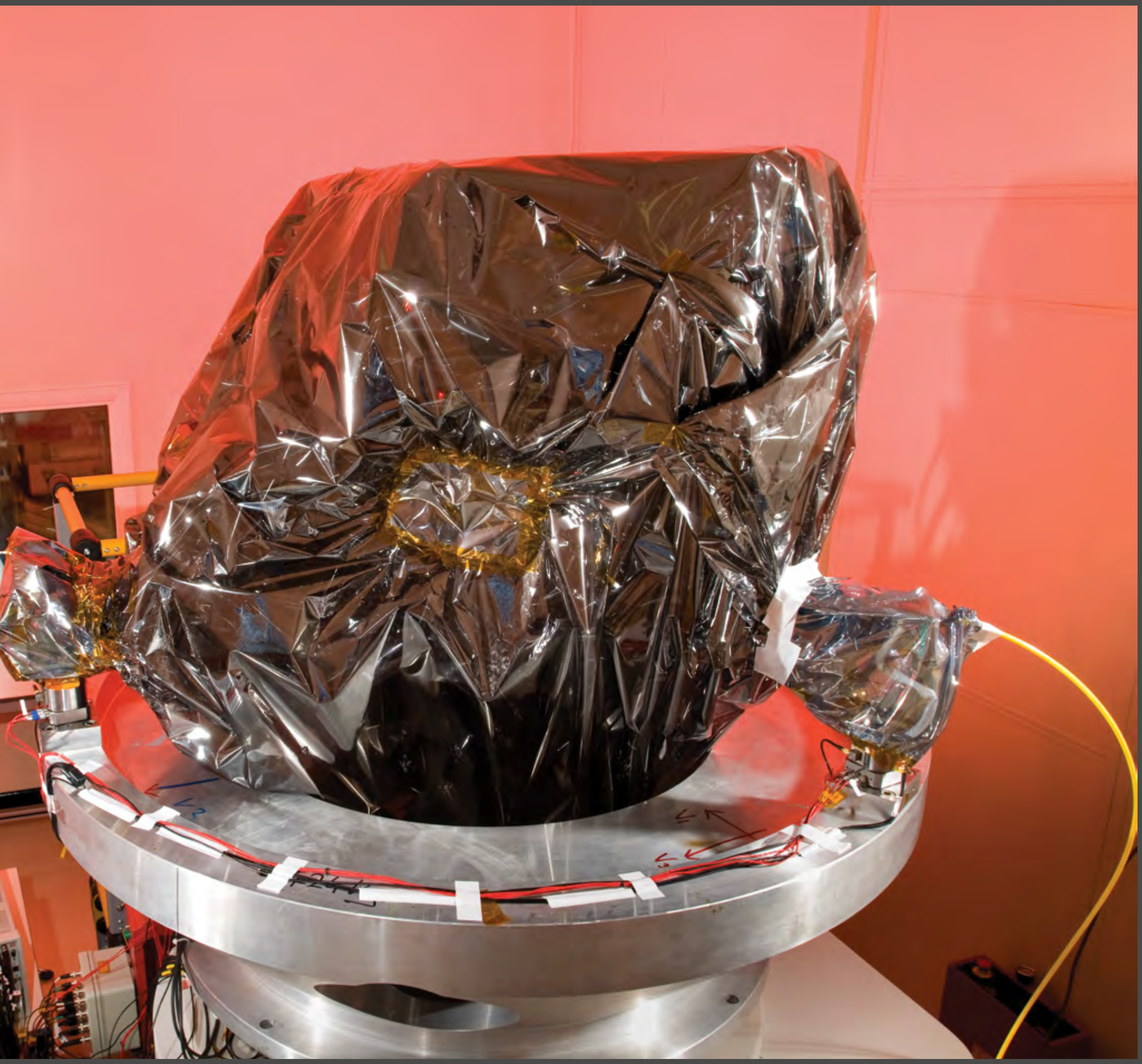
JWSTs vollständiger Spiegel mit 6,5 Metern Durchmesser besteht aus 18 sechseckigen Beryllium-Segmenten mit 1,3 Metern Breite. Im All wird die Form der Segmente und die Ausrichtung mit computergesteuerten Aktuatoren angepasst, um ein qualitativ besseres und, schärferes Bild zu erreichen. Die Spiegel werden mit einer Präzision von einem Zehntausendstel eines Menschenhaars so ausgerichtet, dass ein einziger Riesenspiegel entsteht.

Der Spiegel ist segmentiert, da er in die Ariane-5-Rakete passen muss, die einen Durchmesser von 5 Metern hat. Ähnlich dazu wird das tennisplatzgroße Sonnenschild von JWST für den Start zusammengeklappt und erst in der Umlaufbahn entfaltet.

Von den vier Instrumenten, die mit dem Licht dieses Spiegels in Kontakt kommen, sind zwei aus Europa. Das *Mid-InfraRed Instrument* (MIRI, Hauptabbildung), das erste Instrument von JWST, das die Testphase abgeschlossen hat (hier während Tests in Großbritannien), wird von Astronomen verwendet, um schwache Kometen, die die Sonne umkreisen, neugeborene Planeten in weiter Ferne und Bereiche mit verdeckter Sternbildung und Galaxien am Rand des Universums zu untersuchen.

Der Nahinfrarot-Spektrograph (NIRSpec, unten) überwacht ferne Galaxien, um deren elementaren Aufbau und die Geschwindigkeit der Sternbildung zu beobachten, wobei ein Spektrum von mehr als 100 schwachen Galaxien und Sternen gleichzeitig abgedeckt werden kann.

Die NASA liefert die Nahinfrarot-Kamera (NIRCam) für die direkte Erkennung und Bildverarbeitung schwach strahlender Objekte. Die Kanadischen Weltraumagentur ist für den Navigationssensor verantwortlich, eine Kamera, die für die genaue Ausrichtung des Observatoriums auf astronomische Ziele gedacht ist, und einen Nah-Infrarot-Bildwandler sowie einen Spektrographen enthält, um direkt wissenschaftliche Beobachtungen durchzuführen.



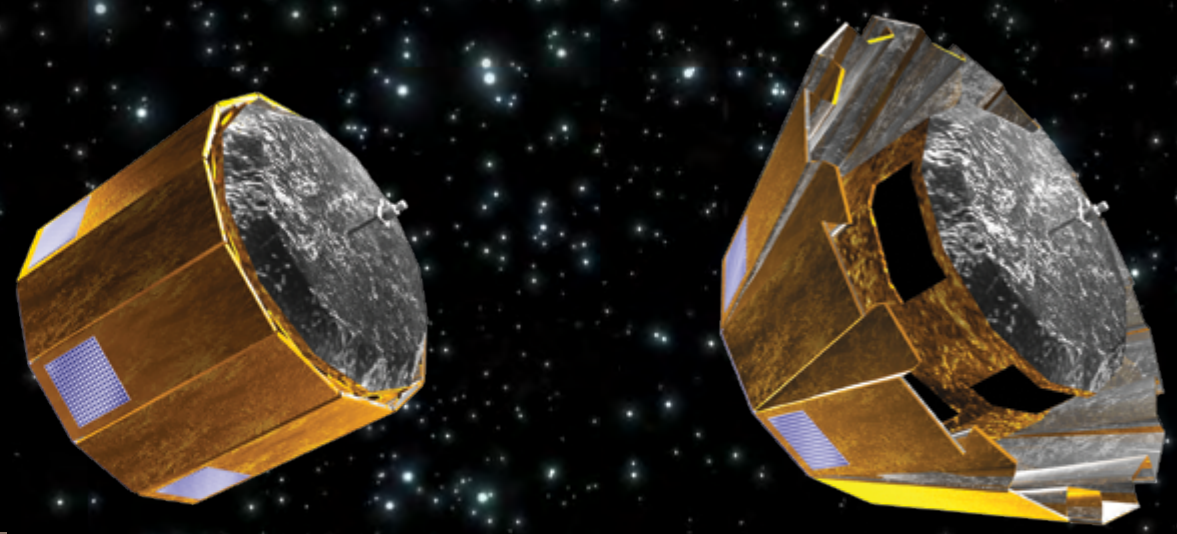
Sternenhimmel im Schatten

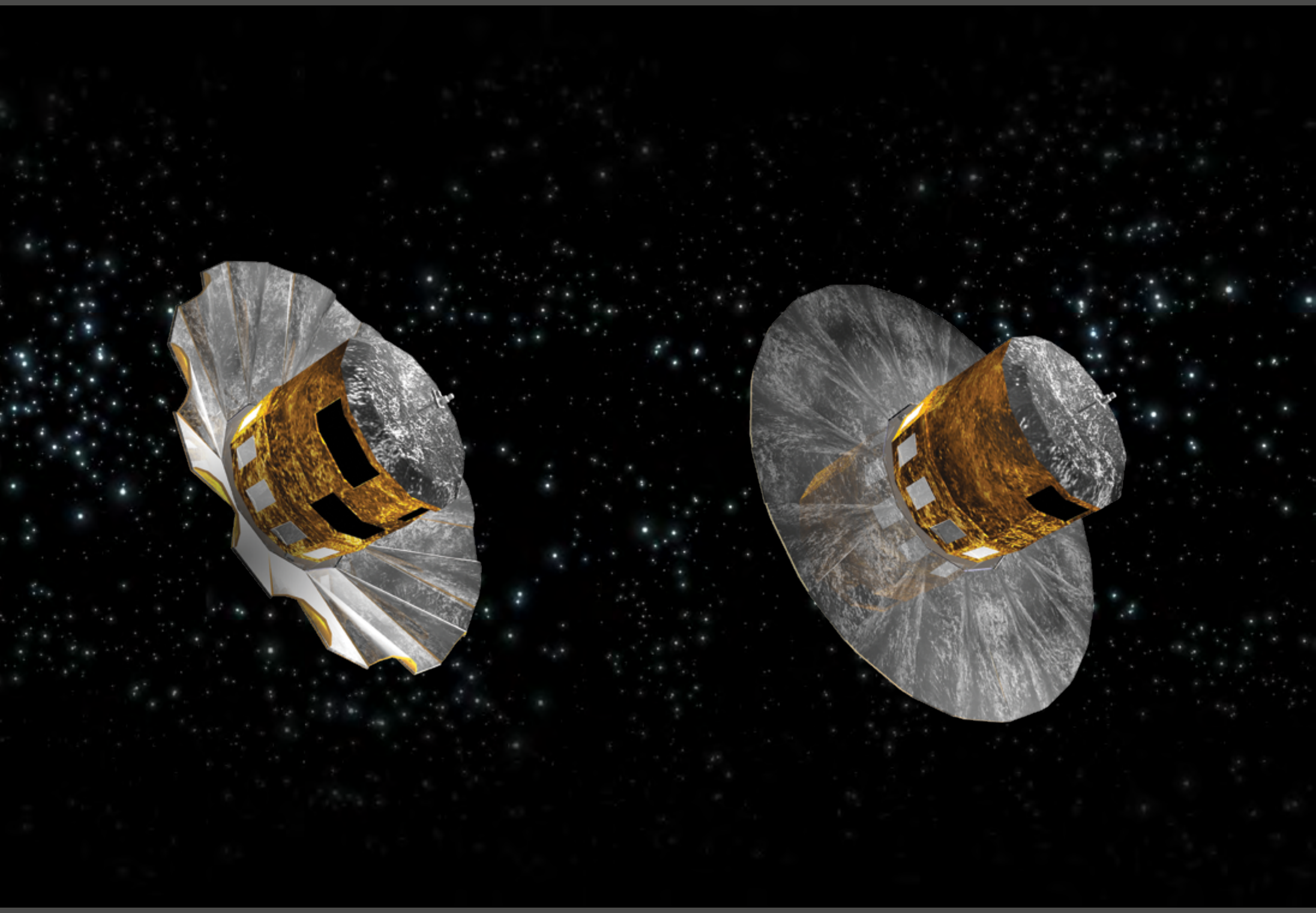
Mit dem bloßen Auge können am Nachthimmel einige tausend Sterne beobachtet werden. Die Gaia-Mission der ESA tastet den Himmel mit zwei Teleskopen ab, um viele weitere Sterne zu sehen: Ziel ist es, ungefähr eine Milliarde Sterne während der fünfjährigen Mission zu erfassen. Die präzise Messung kann nur mit einem besonders stabilen Raumschiff durchgeführt werden, dessen Betrieb hinter einem entfalteten Sonnenschutz sichergestellt wird. Mit einer Fläche von 75 m^2 ist das Sonnenschild für die Nutzung im schwerelosen Weltraum gedacht, weshalb es in der Testphase in Astrium, Frankreich, von Seilen mit Gegengewichten gehalten wurde. Die 12 Paneele von nur wenigen Millimetern Dicke, die das Sonnenschild ausmachen, werden vom Raumschiff abgespannt.

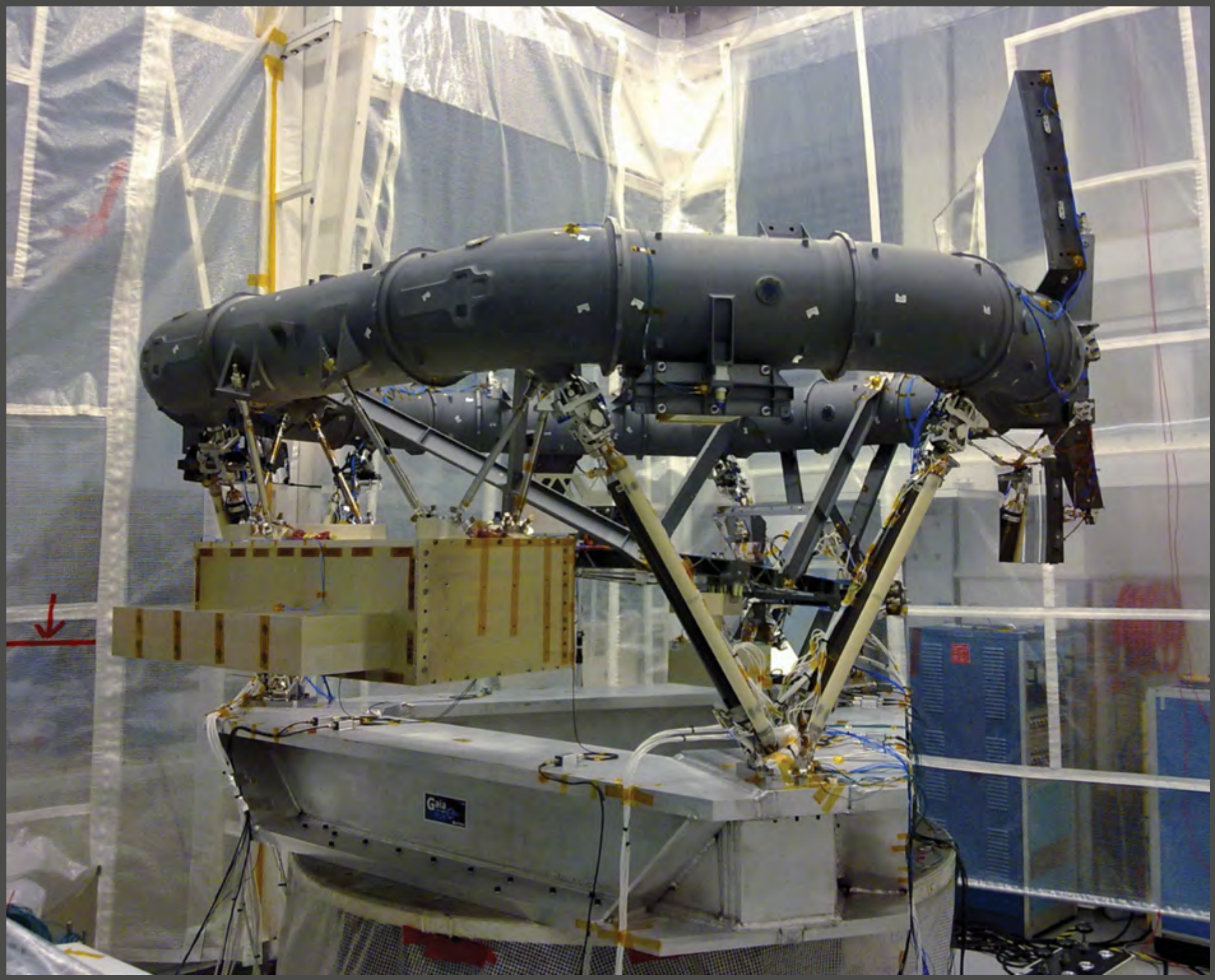
Seit Dezember 2013 erforscht Gaia ungefähr 1 % der Sterne in unserer Galaxie, nimmt deren Helligkeit und spektrale Eigenschaften zusammen mit ihrer 3D-Position und Bewegung mit der Zeit auf. Gaias Karte der sich bewegenden Sterne zeichnet die Geschichte der Milchstraße auf und sagt deren Zukunft voraus.

Mit ungefähr 1,5 Millionen Kilometern Abstand von der Erde muss Gaias Temperatur hinter dem Sonnenschild innerhalb weniger Millionstel Grad konstant gehalten werden, um kleinste Verformungen des Teleskops zu vermeiden und die Präzision aufrecht zu erhalten.

Gaia führt Europas führende Position beim Sternekartieren weiter: Am Anfang stand die Hipparcos-Mission mit den Hipparcos- und Tycho-Sternkatalogen, die als astronomisches Referenzwerk gelten. Die Gaia-Kataloge werden einen neuen Standard setzen.






Gaia

Gaias Auge

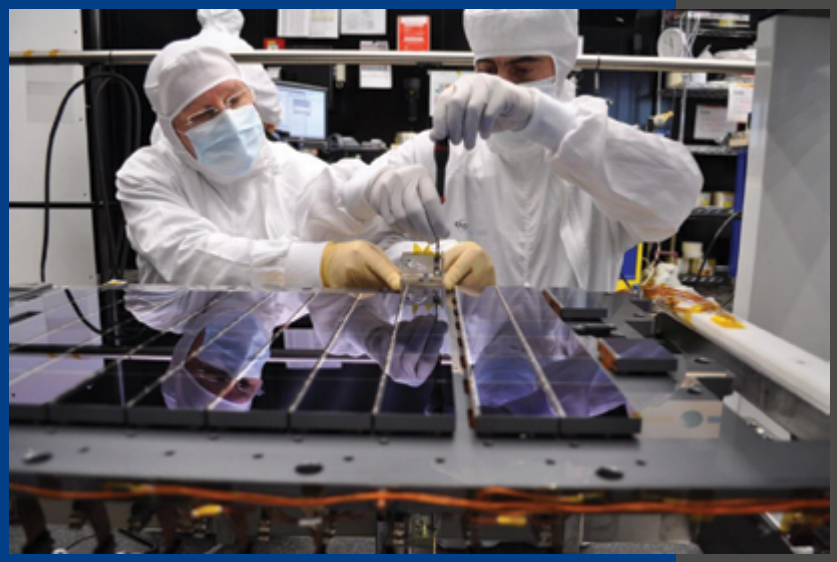
Um die fernen Sterne zu entdecken, die eine Million Mal schwächer leuchten, als dies unser Auge erkennen kann, ist auf Gaia die größte Digitalkamera integriert, die je für eine Raumfahrtmission gebaut wurde. Sie besteht aus 106 separaten elektronischen Detektoren, die als CCD (charge couple device) bekannt sind, im Prinzip moderne Versionen der Chips in herkömmlichen Digitalkameras.

Diese rechteckigen, von e2v Technologies in Chelmsford, Großbritannien, für die Mission entworfenen Detektoren sind etwas kleiner als eine Kreditkarte und messen je 4,7x6 cm. Sie weisen ein lichtempfindliches Silikonsubstrat auf, das dünner als Menschenhaar ist.

Das 0,5 x 1,0 m große Mosaik wurde 2011 von Astrium SAS, dem Hauptlieferanten für Gaia, im Werk in Toulouse zusammengebaut. Die Anordnung mit einer Milliarde Pixel deckt 0,38 m^2 ab und ist das extrem empfindliche Auge Gaias.

Die Techniker haben Wochen damit verbracht, jeden der CCDs genau auf der Trägerstruktur anzubringen und zu befestigen. In einer Doppelschicht unter strikten Reinraumbedingungen wuchs die rechteckige Fokalebene jeden Tag um ungefähr vier CCDs. Um die Sensibilität der Detektoren zu erhöhen wird deren Temperatur auf –110 °C gehalten.

Gaias CCD-Trägerstruktur, der Hauptring (Vorderseite) und beinahe das ganze Nutzlastmodul ist aus Siliciumcarbid gefertigt, das gegenüber thermalen Verformungen besonders resistent ist. Der Vorteil von SiC ist, dass es leicht ist und gleichzeitig eine große Steifigkeit aufweist sowie auf Spiegelglanz poliert werden kann: alle 10 Spiegel von Gaias Zwillingsteleskopen sind aus Siliciumcarbid.



esa
esa

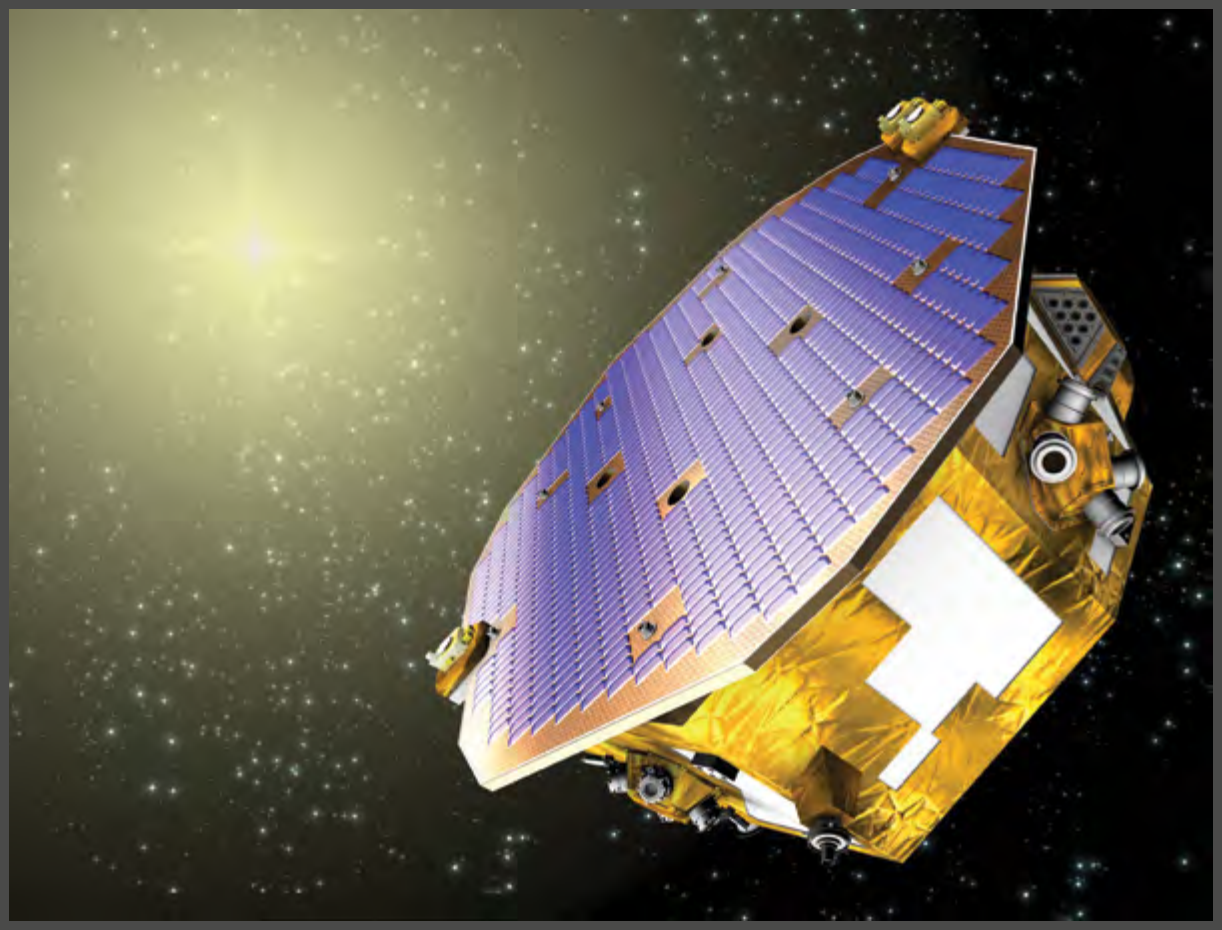
Einsteins Traum vom Fallen

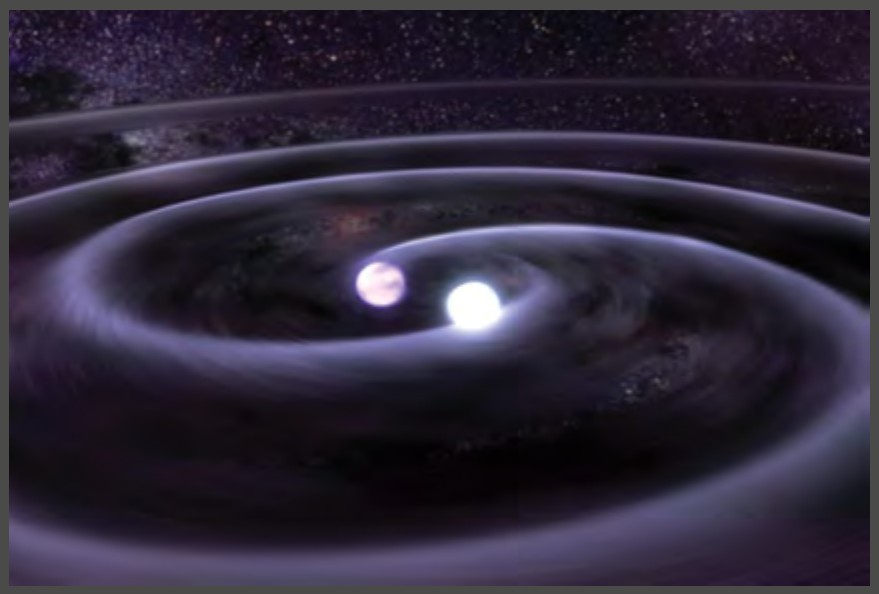
Der LISA-Pathfinder ist der am präzisesten steuerbare je gebaute Raumflugkörper. Offiziell handelt es sich um eine Mission zur Demonstration der Technologie, wobei die Designer die harte Aufgabe vor sich haben, Albert Einsteins berühmtes Gedankenexperiment Realität zu machen.

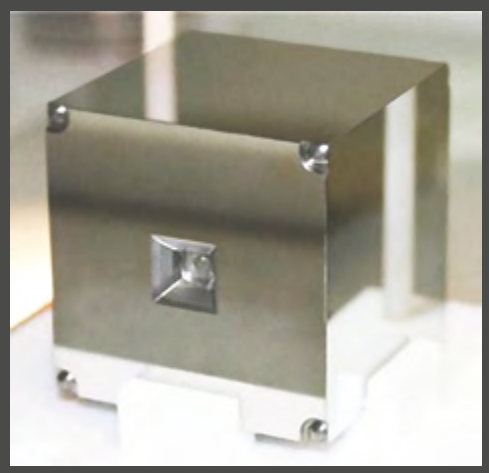
Während der Entwicklung seiner Allgemeinen Relativitätstheorie fragte sich Einstein 1915, wie ein Objekt durch das Weltall fallen würde, wenn es frei von allen anderen Einflüssen wäre. Er entschied, dass es statt entlang einer Geraden eine geodätische Linie beschreiben würde – so wie Flugzeuge über der Erde in großen Kreisen fliegen – da die Schwerkraft die Grundstruktur von Raum und Zeit verbiegt.

Der LISA-Pathfinder (Laser Interferometer Space Antenna) wird einen solchen ungehinderten Fall in der Realität austesten, ohne dass dieser von externen Kräften beeinflusst wird. Auf 1,5 Millionen Kilometern Abstand zur Erde handelt es sich um eine besondere Art von Formationsflug mit zwei winzigen Raumschiffen, die in einem dritten schweben. Zwei 4,6 cm grosse kubische Massen (rechts unten) schweben frei innerhalb von zwei Kammern, die mit 35 cm Abstand in der Mitte der Hauptkapsel liegen. Ihr Abstand wird von einem Lasersystem bis auf subatomare Präzision überwacht.

Der Zweck ist es weniger, eine geodätische Bewegung als Selbstzweck zu schaffen, als viel mehr im Flug Technologien und Technik zu testen, die in Zukunft bei noch ambitiöseren Projekten wie der neuen Mission mit dem Namen Gravitationswellenobservatorium angewendet werden können. Durch Verbinden mehrerer solcher Raumschiffe mit Laserstrahlen über Millionen von Kilometern könnten die Gravitationswellen nachgewiesen werden. Diese Wellen durch die Raumzeit sind eine besonders dramatische Voraussage von Einsteins Allgemeiner Relativität, von der geglaubt wird, dass sie von exotischen astronomischen Objekten stammt, wie beispielsweise kollidierenden Schwarzen Löchern und nahen Doppelsternen. Der Erfolg würde eine ganz neue Art der Astronomie ermöglichen: wir müssten nicht mehr länger dem von Sternen ausgestrahlten Licht im elektromagnetischen Spektrum zusehen, sondern könnten die kleinen Wellen in der Raumzeit, die von der grundsätzlichen Anziehungskraft ausgehen, beobachten.







→ DAS SONNENSYSTEM

Die Erde ist nicht allein, sondern Teil eines weiten Universums. Während sie wohl wirklich einzigartig ist, ist sie aus den gleichen Stoffen wie die Sonne und das umliegende System mit acht Planeten, mehr als hundert Monden und unzähligen kleineren Körpern gemacht. Alle Mitglieder des Sonnensystems teilen die gleiche Vergangenheit, aber alle haben eine eigene Geschichte zu erzählen. Einige, wie beispielsweise Mars und Venus, begannen ähnlich wie die Erde, entwickelten sich dann aber ganz anders. Andere, wie der Saturnmond Titan, blieben seit ihrer Entstehung unverändert.

Geburt aus dem Sternentod

Die Erschaffung war sehr typisch und wurde durch einen Sternentod ausgelöst, den die ESA-Weltraumteleskope im fernen Universum gesehen haben. Die Elemente, die im Herzen der Sterne gekocht wurden, flogen, in die umgebende Leere, als diese Körper ihren Brennstoff aufgebraucht hatten, wobei die Gaswolken sich in den Regionen zwischen den Sternen ansiedelten. Ungefähr vor 4,6 Milliarden Jahren sandte eine zerstörerische Sternexplosion, eine sogenannte Supernova, Schockwellen durch eine solche Molekularwolke, die daraufhin aufgrund ihrer Gravitation in sich zusammenfiel. Eine protoplanetare Scheibe wurde gebildet, mit einem aus sich drehendem Gas und Staub bestehenden Protostern, von dem aus sich die ersten mikroskopischen Körner bildeten, die zu einem Baustein von Planeten (Planetesimal) zusammenschmolzen, woraus dann wiederum Planeten entstehen konnten.

Der Kosmos vor unserer Tür

Sieht man einmal von weit entfernten Sternen und Galaxien ab, kann das System, in dem wir uns befinden, aus der Nähe untersucht werden, es kann sogar darin gelandet werden oder vor Ort untersucht werden. Raumschiffe können die Eigenschaften der anderen Planeten so genau erfassen, wie wir die Erde kennen, deren Atmosphären und das Wetter untersuchen und den Boden analysieren oder Proben davon nehmen. Und der Raum dazwischen ist nicht wirklich leer, sondern enthält ein reichhaltiges Zusammenspiel von Plasma und Strahlung, magnetischen Feldern und Anziehungskräften, die alle von der Sonne dominiert werden.

Unser mächtiges Zentralgestirn verdient unsere volle Aufmerksamkeit. In unserem Sonnensystem ist es unsere Energiequelle und für uns Erdbewohner ein wichtiger Begleiter. Die Sonne wird als astronomisches Objekt untersucht – als typischer Stern, der für uns am einfachsten zu beobachten ist – das als Labor der Theorien für Sternbildung und -evolution dient. Wir wissen, dass die Partikel der Sonnenwinde, die von der Sonne erzeugt werden, das Magnetfeld der Erde beeinflussen und möglicherweise auch Telekommunikations- und andere vom Menschen geschaffene Systeme beeinträchtigen können, die für unser modernes Leben bedeutend sind. Wir müssen noch viel lernen, was das Leben mit unserem Stern angeht, der einfach ein leuchtendes Beispiel für die Astrophysik im Dienst des modernen Lebens ist.

Europäische Erkundung

1968 schoss die ESRO – die Vorläuferorganisation der ESA – den Highly Eccentric Orbit Satellite-1 im interplanetaren Raum auf eine hochexzentrische Umlaufbahn, wo er die Sonnenwinde während sieben Jahren untersuchte. In den Jahren danach wurde die ESA zu einem weltführenden Akteur in der

Sonnenwissenschaft, der Plasmaphysik im All, der Planetenwissenschaft, Sonnenphysik und Kometenwissenschaft. Die Mission Ulysses der ESA schwang aus der Ebene des Sonnensystems, um die Pole der Sonne zu untersuchen, während Giotto den Kern des Kometen Halley näher kennenlernen durfte (und Rosetta wird die erste Landung auf einem Kometen vollbringen). Ein ESA-Forschungsfahrzeug ist auf Titan gelandet und ESA-Raumsonden kreisen um Mars und Venus, während eine andere für Merkur in Vorbereitung steht.

Die moderne Technologie der ESA-Missionen steht für die gemeinsamen Bemühungen, unseren eigenen Planeten besser verstehen zu können. Welche Faktoren haben die unterschiedliche Entwicklung dieser Welten angetrieben und weshalb ist Leben nur auf unserem Planeten, dem dritten von der Sonne aus gesehen, entstanden? Könnte anderswo im Sonnensystem Leben existieren?

Streben nach Antworten

Unsere Untersuchung des Sonnensystems versucht, das Universum und unseren Platz darin besser zu verstehen. Welche physikalischen Grundgesetze gelten im Universum? Wie ist das Universum entstanden und woraus besteht es? Welche Bedingungen sind für die Entstehung von Planeten und Leben nötig? Wie funktioniert das Sonnensystem?

Es gibt offensichtliche Synergien mit der Astronomie im fernen Weltraum. Während eines Großteils der menschlichen Geschichte war es nicht klar, ob unser Sonnensystem im Universum einzigartig ist, aber heute wissen wir, dass es noch viele weitere Exoplanetensysteme zum Vergleich gibt. Jetzt wissen wir, dass unseres, im Prinzip, kein besonderes Sternensystem ist.

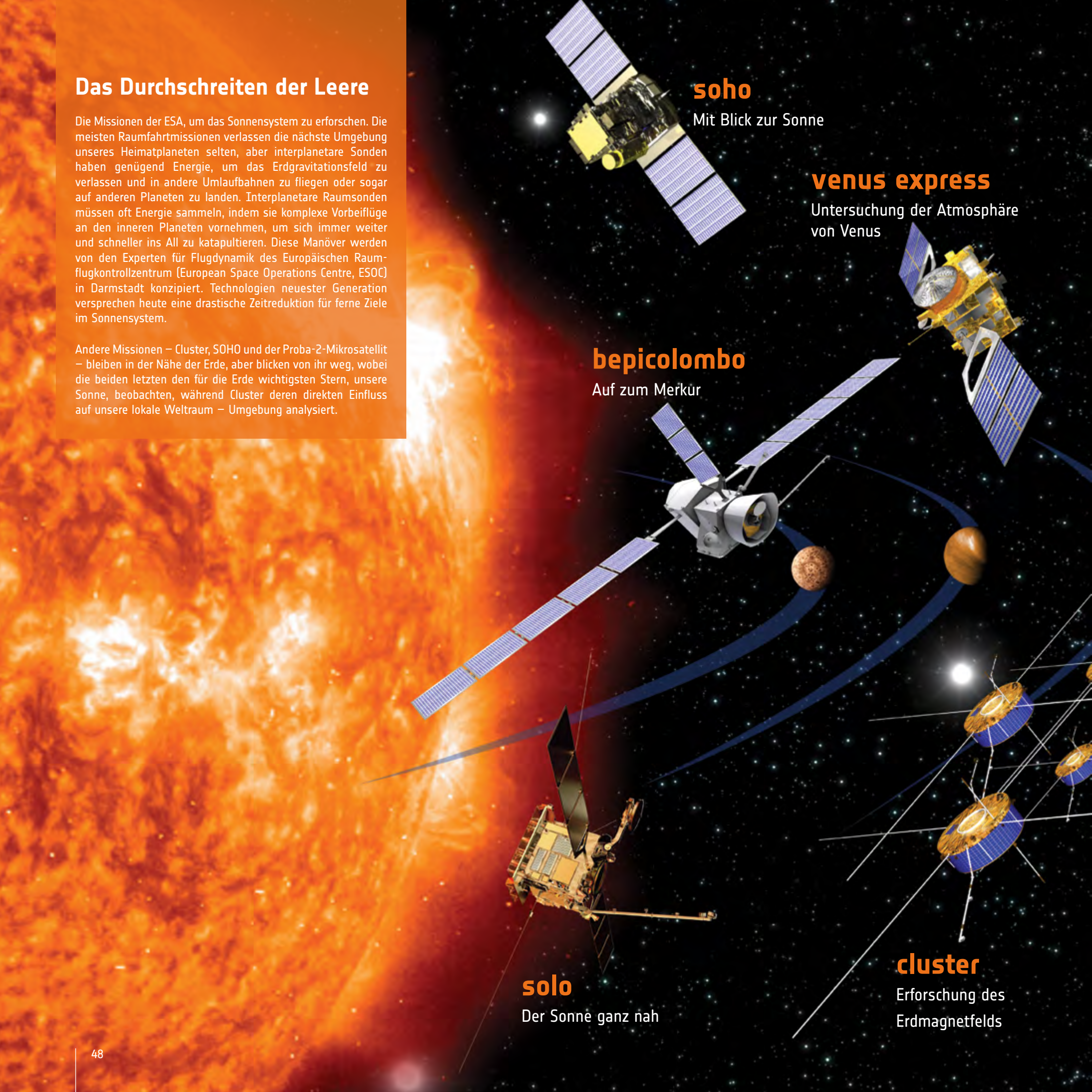
Welche Faktoren machen eine Umgebung aus, die Leben entstehen lassen kann? Bestimmte geophysische, geochemische und astrophysische Kriterien müssen gegeben sein, damit ein astronomischer Körper als bewohnbar gilt. Wenn wir die verschiedenen Bedingungen ansehen, die unser Sonnensystem bietet, können wir sehen, welches die „idealen“ Bedingungen für die Entstehung von Leben sind.

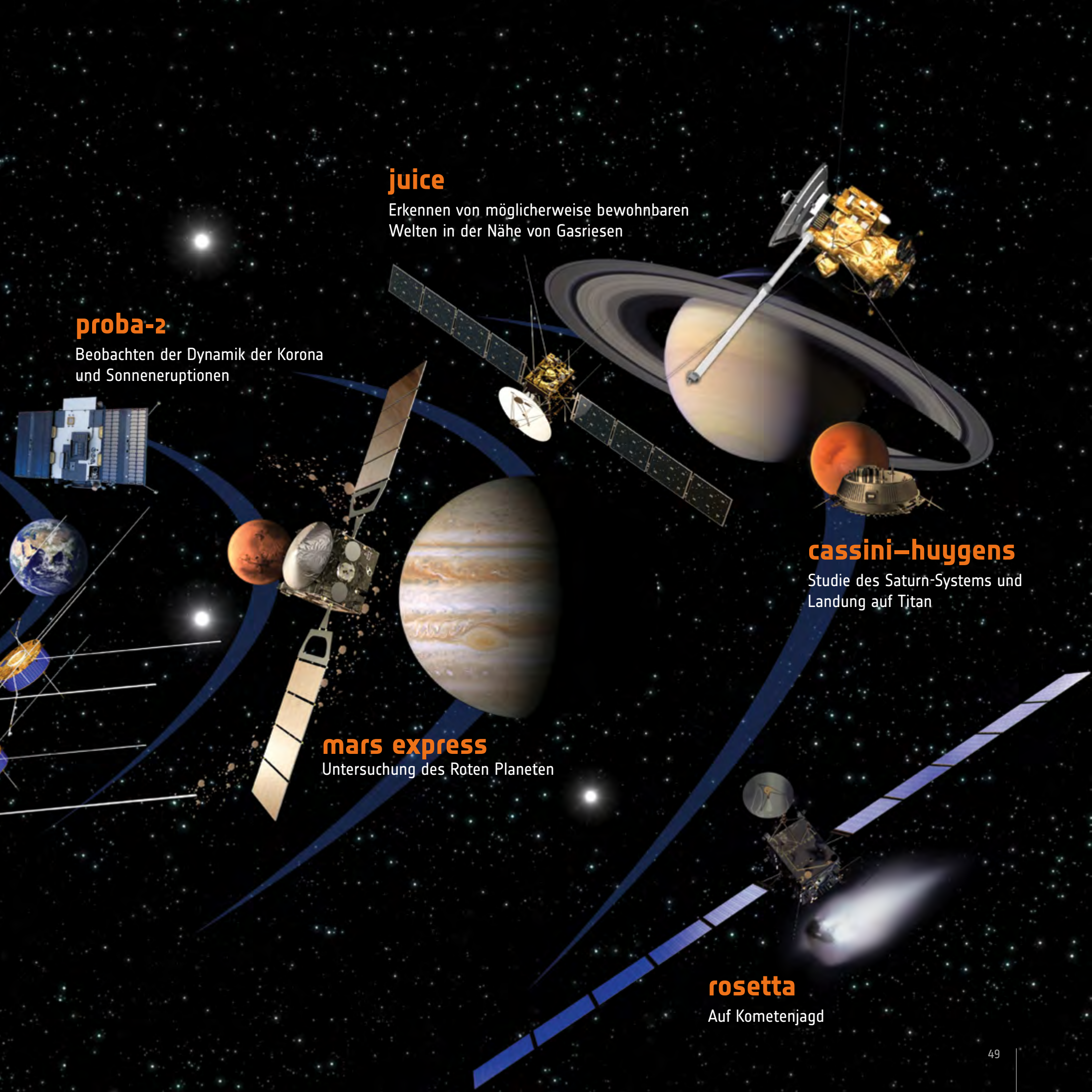
Die Antworten auf diese Fragen sollten dabei helfen, herauszufinden, wie viele andere Welten da draußen möglicherweise für Leben geeignet sind. Und wenn wir von fernen Sonden auf unsere Erde blicken, erkennen wir Strategien, wie wir in der Ferne solche Welten finden könnten, oder was noch wichtiger ist, wie wir das Leben auf Raumschiff Erde schützen können.

Das Durchschreiten der Leere

Die Missionen der ESA, um das Sonnensystem zu erforschen. Die meisten Raumfahrtmissionen verlassen die nächste Umgebung unseres Heimatplaneten selten, aber interplanetare Sonden haben genügend Energie, um das Erdgravitationsfeld zu verlassen und in andere Umlaufbahnen zu fliegen oder sogar auf anderen Planeten zu landen. Interplanetare Raumsonden müssen oft Energie sammeln, indem sie komplexe Vorbeiflüge an den inneren Planeten vornehmen, um sich immer weiter und schneller ins All zu katapultieren. Diese Manöver werden von den Experten für Flugdynamik des Europäischen Raumflugkontrollzentrum (European Space Operations Centre, ESOC) in Darmstadt konzipiert. Technologien neuester Generation versprechen heute eine drastische Zeitreduktion für ferne Ziele im Sonnensystem.

Andere Missionen – Cluster, SOHO und der Proba-2-Mikrosatellit – bleiben in der Nähe der Erde, aber blicken von ihr weg, wobei die beiden letzten den für die Erde wichtigsten Stern, unsere Sonne, beobachten, während Cluster deren direkten Einfluss auf unsere lokale Weltraum – Umgebung analysiert.



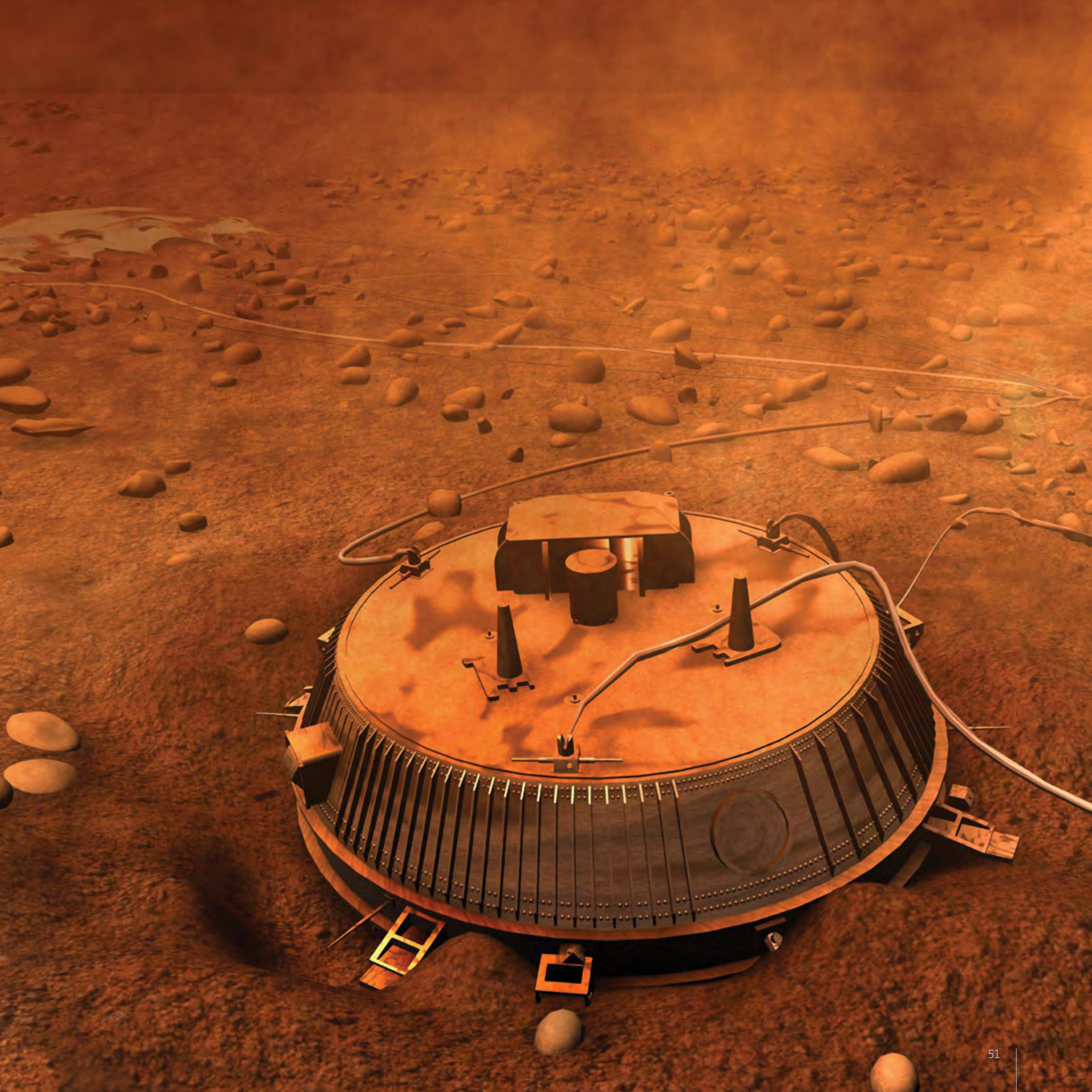

juice
Erkennen von möglicherweise bewohnbaren Welten in der Nähe von Gasriesen
proba-2
Beobachten der Dynamik der Korona und Sonneneruptionen
cassini–huygens
Studie des Saturn-Systems und Landung auf Titan
mars express
Untersuchung des Roten Planeten
rosetta
Auf Kometenjagd

Landung im Nebel

Am 14. Januar 2005 hat die ESA die entfernteste Landung auf einem anderen Himmelskörper der Geschichte vollführt. Die Landestufe von Huygens ist auf der bis dahin unbekannten Oberfläche des größten Mondes des Saturns, Titan, gelandet, nach sieben Jahren Flug und einer Entfernung von 1,4 Milliarden Kilometern. Die neblige Atmosphäre Titans hatte es zuvor unmöglich gemacht, die 80 Millionen Quadratkilometer genauer zu untersuchen, weshalb er uns kaum bekannt war.

Die Landesonde war Teil der gemeinsamen Cassini-Huygens-Mission mit der NASA und Italiens Raumfahrtorganisation. Mit einem Startgewicht von 5,82 Tonnen handelt es sich um eine der größten je ins All geflogenen interplanetaren Raumsonden, die mehrere Vorbeiflüge durchführen musste, um genügend Schwung zu nehmen, damit sie Saturn erreichen konnte. Das Raumschiff erreichte die Saturn-Umlaufbahn im Juli 2004 und die beiden Teile trennten sich am Weihnachtstag, wonach Huygens während 20 Tagen in Richtung Titan fiel.

Der muschelförmige Landeteil begann mit der Untersuchung während der letzten 148 Minuten des Absinkens durch die dicke Stickstoffatmosphäre, während ihn drei verschiedene Fallschirme abbremsten: Er erfasste die Luft, Windgeschwindigkeiten sowie Geräusche und Bilder. Die dunstige Schicht wurde ab 25 Kilometern Höhe besser und die Kamera, die speziell für das schwache Licht auf Titan entwickelt wurde, begann die Landschaft darunter aufzunehmen. Dann wurden ausgetrocknete Flussbetten sichtbar, die in einen ebenfalls ausgetrockneten See führten. Die wissenschaftlichen Instrumente zur Untersuchung der Oberfläche bestätigten dies durch eine Landung auf morastigem Untergrund. Bilder, die via Cassini zur Erde gesandt wurden, zeigten Huygens Landeplatz auf einer Ebene mit von Eis abgerundeten Steinen. Ungefähr 70 Minuten nach der Landung verlor es den Kontakt zu Cassini, als diese aus dem Empfangsbereich flog. Und danach führten die Temperaturbedingungen von −179 °C dazu, dass die Batterien sich schnell entluden.

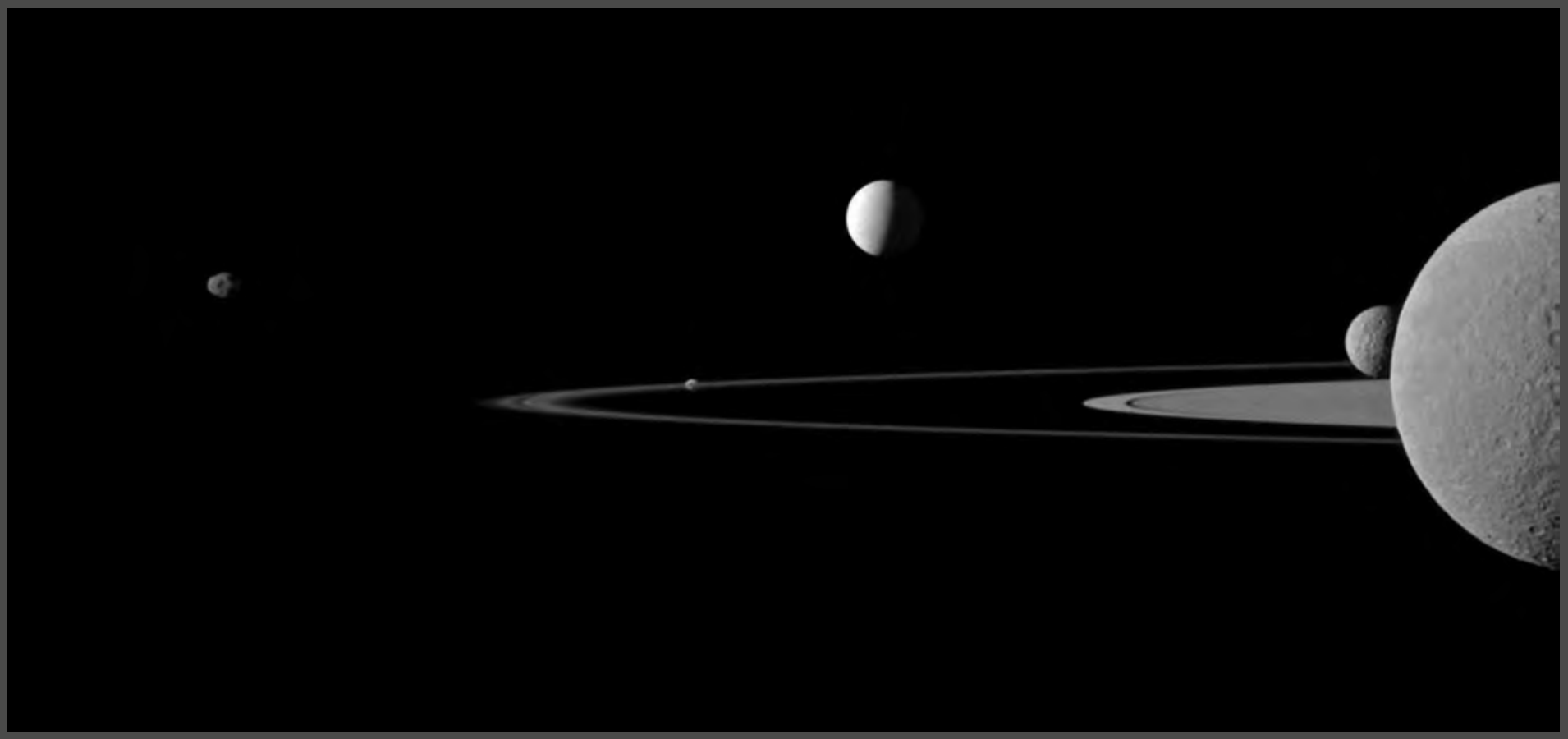


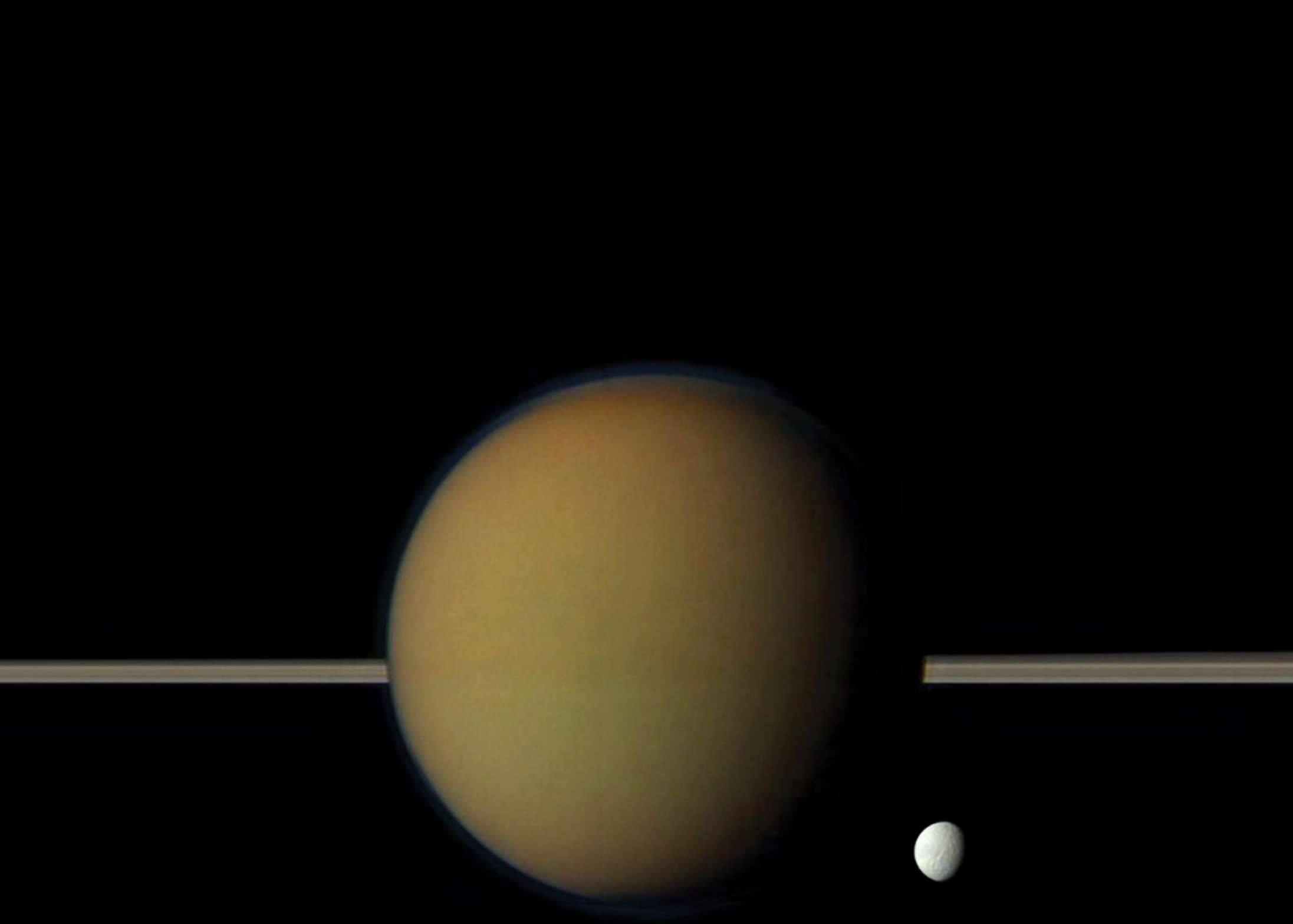
Eine Menagerie von Monden

Huygens' Mutterschiff ist in der Saturn-Umlaufbahn weiterhin im Einsatz und analysiert Saturn, Titan und die Vielzahl an weiteren Monden des riesigen Planeten, seine Magnetosphäre sowie dessen Ringe. Das Hauptbild zeigt den orangefarbenen Nebel des Titans vor den Seitenringen des Saturn mit dem Eismond Tethys im Hintergrund.

Cassini fliegt durch die Wolken, um die Oberfläche von Titan (Bild daneben) mit Radar und Spektrometern zu untersuchen, wobei die Daten von Huygens als Bodendaten für die Orbitalbeobachtungen dienen. Titan, der eineinhalb Mal so groß wie unser Mond ist, ist der Erde sehr ähnlich: Wolken, Wind und Regen formen die Sanddünen, Flussläufe und Seen auf der Oberfläche (eingesetzte Abbildung), wobei statt Wasser flüssiges Methan, Ethan und andere Kohlenwasserstoffe vorhanden sind anstelle von Wasser und tiefgefrorenem Eis wie auf unserem Planeten. Flüssiges Wasser kann tiefer unten gefunden werden, denn das Cassini-Experiment zur Radiosondierung deutet auf einen Wasser-Ammoniak-Ozean in der Tiefe hin.

Die Abbildung unten zeigt fünf andere Monde in ihrer Vielfalt, die nebst den Ringen zu Saturn gehören. Janus (179 km Durchmesser), Pandora (81 km) zwischen dem A-Ring und dem feinen F-Ring in der Mitte der Abbildung, und der helle, eisige Enceladus (504 km) oberhalb der Mitte des Bildes. Der zweitgrößte Mond des Saturn, Rhea (1528 km) ist am rechten Rand der Abbildung angeschnitten. Der kleine Mond Mimas (396 km) liegt hinter Rhea.



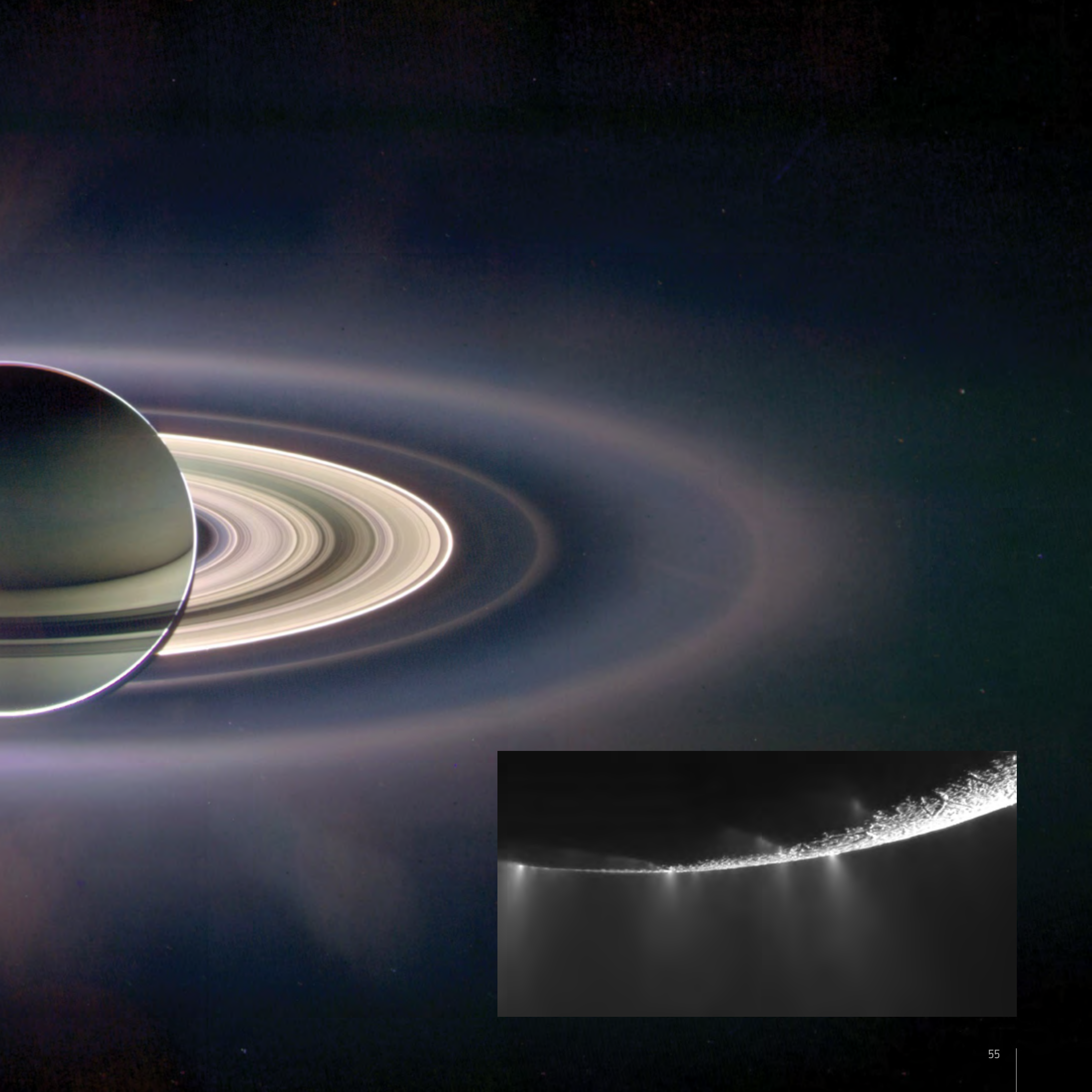


Sonnenfinsternis

2006 driftete Cassini in den Schatten, von wo aus die Sonde dieses spektakuläre Panorama der Sonnenfinsternis durch den Saturn aufnehmen konnte. Die Ringe des Planeten glitzern in gestreuten Sonnenstrahlen und der hellblaue Punkt links des Planeten zwischen dem hellen Ringsystem und dem diffusen G-Ring ist kein Saturnmond sondern die Erde, wie sie von 1,3 Milliarden Kilometern Entfernung aussieht. Normalerweise ist Cassinis Heimat wegen der Helligkeit der Sonne unsichtbar.

Besonders gut sichtbar ist der äußerste E-Ring, der wie Cassinis Analysen zeigen aus dutzenden von Wassereisbrunnen besteht, die aus der Oberfläche von Enceladus, dem sechstgrößten Saturnmond, enstpringen, der innerhalb des Rings kreist (s. eingesetztes Bild). Diese eisigen Schwaden steigen hunderttausende von Kilometern ins All mit Kämmen, die Tigerstreifen ähneln bis hin zum Südpol des Planeten. Ihr Aufstieg wird von geologischer Erwärmung ausgelöst und kann auch dazu führen, dass Speicher flüssigen Wassers unter dem hellen Eis der Enceladusoberfläche verdeckt bleiben. Diese Hypothese wurde dadurch gefestigt, dass die Partikel des E-Rings salzig sind, wie Cassini zeigte, was darauf hindeutet, dass sie tatsächlich von einem flüssigen Ozean stammen.

Wenn Salzwasser langsam gefriert, wird das Salz herausgedrückt und das reine Wasser bleibt zurück. Wenn die Schwaden also von diesem Oberflächeneis kommen, sollte relativ wenig Salz darin sein. Das Cassini-Team schlägt vor, dass eine Wasserschicht zwischen dem Gesteinskern und dem Eismantel vorhanden ist, der von Gezeitenkräften flüssig gehalten wird, die wiederum von Saturn und den Nachbarsmonden geregelt werden, sowie von der Wärme des radioaktiven Zerfalls mit Salz im Gestein, das sich im Wasser löst. Diese Entdeckung macht Enceladus zu einem perfekten Ziel für zukünftige Missionen.



Eiswelten mit versteckten Ozeanen

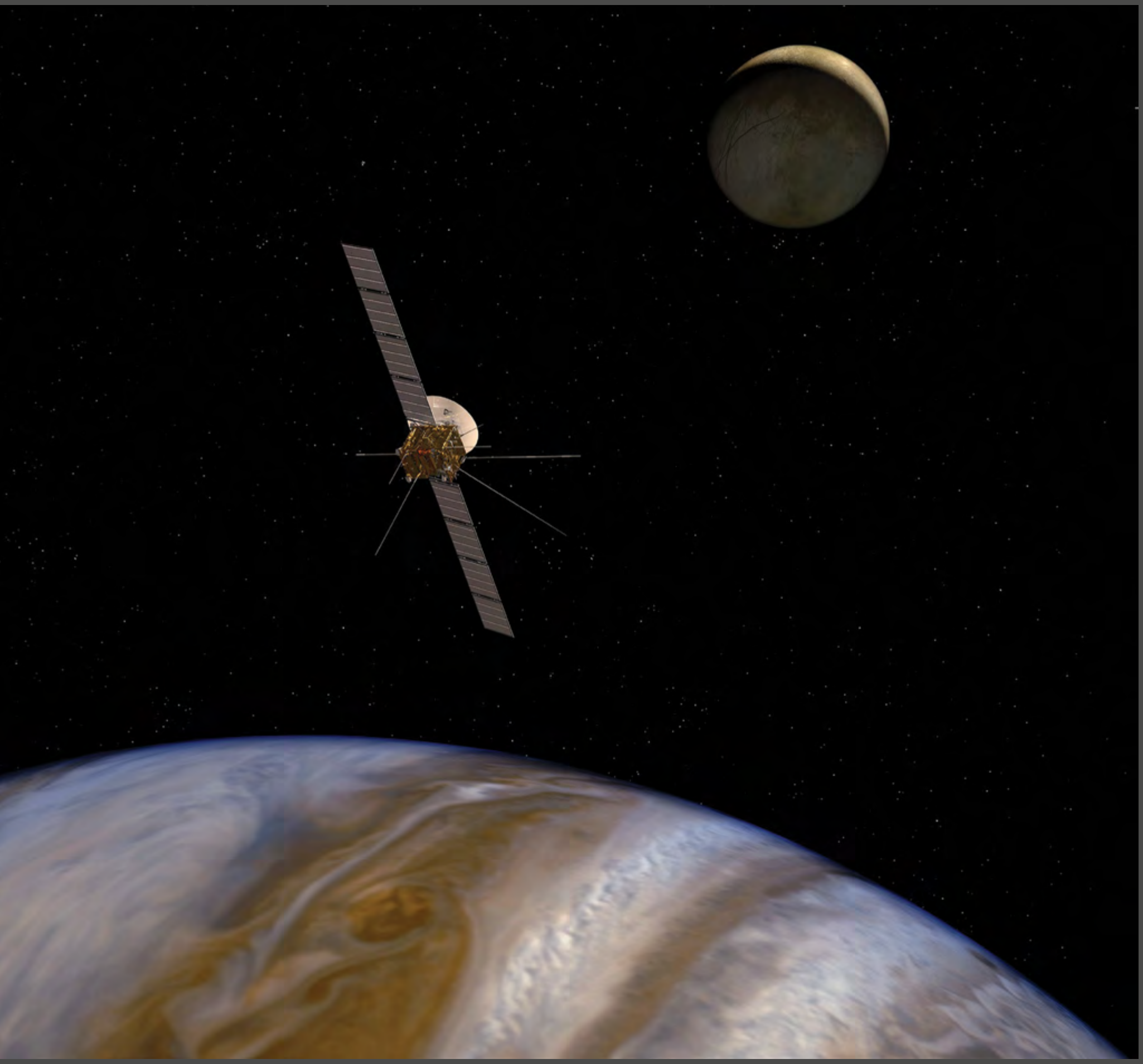
Ganymed, Europa und Kallisto, die drei größten Monde des größten Planeten in unserem Sonnensystem, sind die nächsten Ziele der ESA im äußeren Sonnensystem. Juice, der Jupiter Icy Moons Explorer wird 2022 gestartet werden und Jupiter nach acht Jahren erreichen. Er wird die Atmosphäre und Magnetosphäre des Riesenplaneten analysieren, an Europa und Kallisto vorbeifliegen und der erste Orbiter eines Eismondes werden: Ganymed.

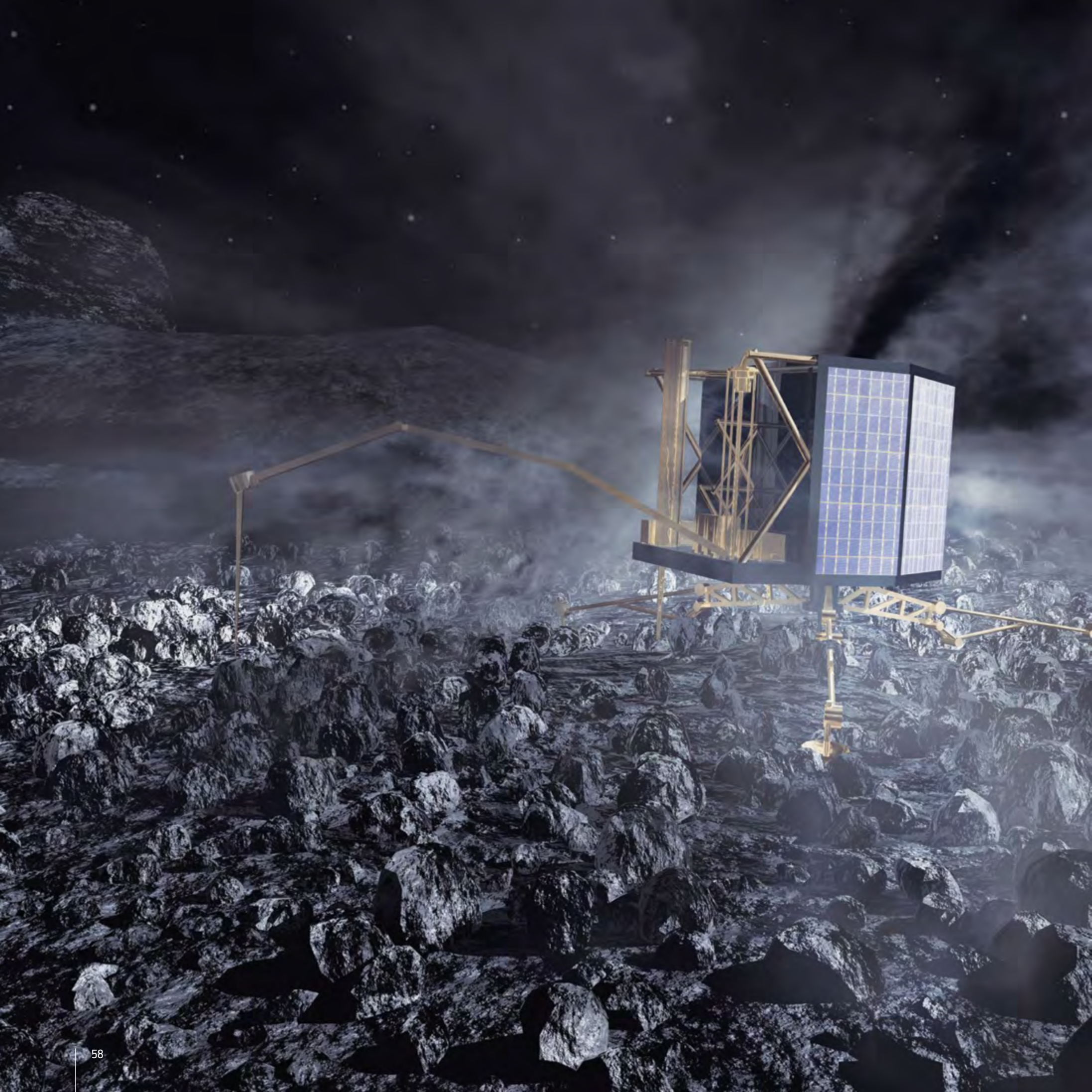
Wie auf der Abbildung nebenan ersichtlich wird, scheint der berühmte rote Punkt Jupiters finster auf Ganymed zu blicken, den größten der 66 bestätigten Monde. Dieses Bild stammt von Cassini-Huygens aus dem Jahr 2000 auf dem Weg zu Saturn.

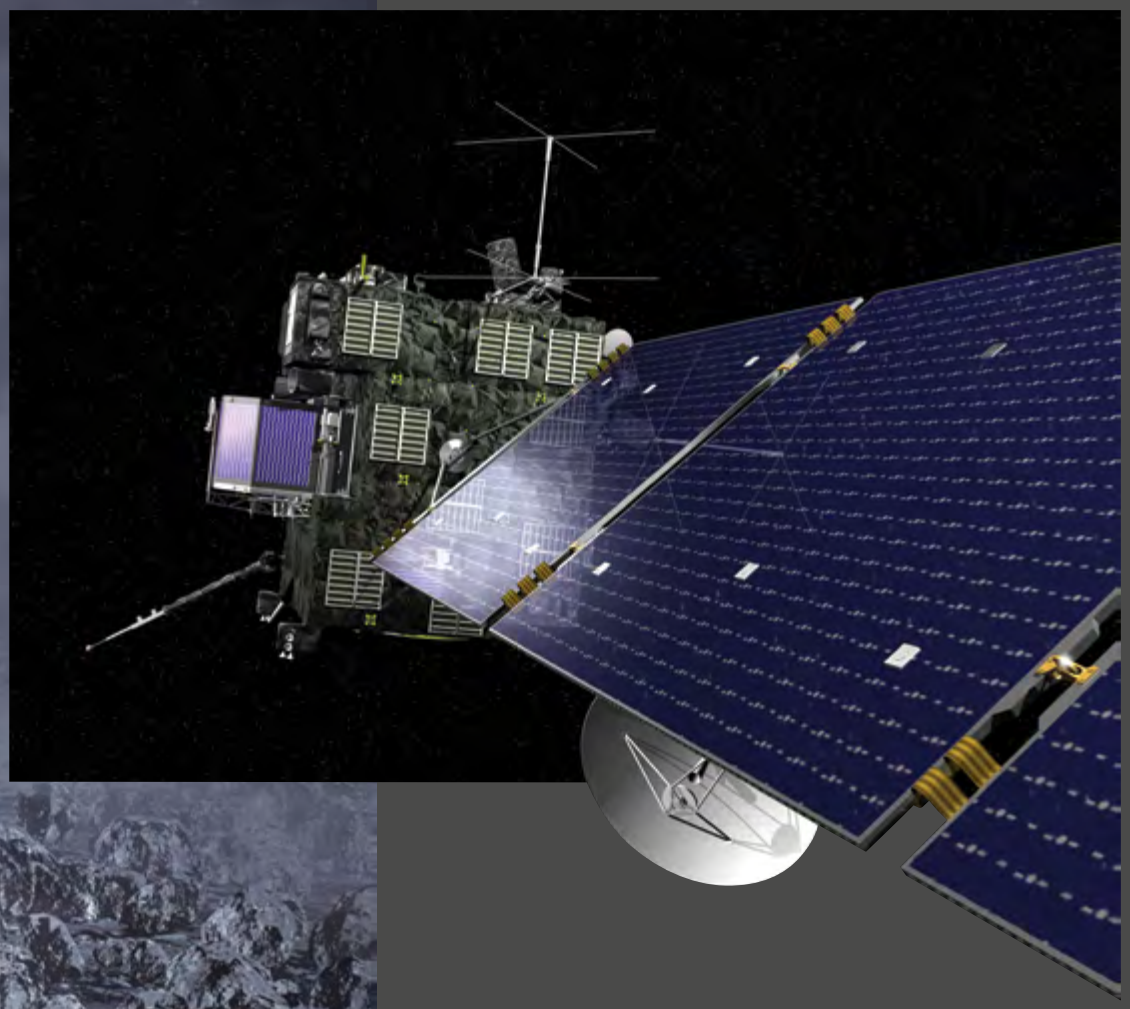
Jupiter mit seinem Königreich der Monde ist ein Mini-Sonnensystem und gilt als Prototyp der Gasriesen. Diese mit Eis bedeckten Monde werden als potentielle Lebensräume erforscht werden. Was wir über die Planeten vom Typ Jupiter, die viele andere Sterne umkreisen, gelernt haben, könnte uns Informationen zum Entstehen von bewohnbaren Welten weiter entfernt im Universum geben.

Während Europa bekannt ist für ihre Oberfläche mit zersplittertem Eis, gibt es Hinweise, dass alle drei Monde Ozeane mit flüssigem Wasser unter der Oberfläche besitzen. Juice wird die ersten Analysen der eisigen Kruste Europas durchführen und mögliche Landeplätze für Untersuchungen vor Ort identifizieren. Sie wird die narbige Oberfläche Kallistos betrachten – das wohl kraterreichste Objekt im Sonnensystem – um die gewaltige Geschichte des Jupitersystems genauer kennenzulernen. 2032 wird Juice von der Umlaufbahn um Ganymed aus die Eisoberfläche und die Innenstruktur sowie den Ozean studieren. Größer als Merkur ist Ganymed der einzige Mond im Sonnensystem, der sein eigenes Magnetfeld schaffen kann. Juice beobachtet die einzigartigen Magnet- und Plasmawechselwirkungen mit Jupiters Magnetosphäre – denn die Nähe des Planeten funktioniert wie ein riesiger Teilchenbeschleuniger.

Juice ist die erste große Mission im Cosmic Vision-Programm und wird ESAs Richtwert für die Erforschung des äußeren Sonnensystems sein.







Kometenfänger

Ziel der Rosetta-Mission ist ein 4 Kilometer breites Ziel in 450 Millionen Kilometern entfernten interplanetarem Raum – was in Navigationsbegriffen aussieht als ob man aus hunderten von Kilometern Abstand eine Nadel einfädeln wolle. Im Mai 2014 wird die Raumsonde in eine Umlaufbahn um den Kometen 67P/Tschurjumow–Gerasimenko einschwenken , dies in einer Entfernung, die der zum Jupiter entspricht. Im November des gleichen Jahres wird die Landesonde Philae sich auf der Kometenoberfläche verankern.

Die 1,5 Tonnen schwere Raumsonde ist nach dem Rosetta-Stein benannt, der es den Europäern ermöglichte die ägyptischen Hieroglyphen zu entschlüsseln. Die mitgeführten Instrumente sollten es den Wissenschaftlern ermöglichen, die Geheimnisse der tiefgefrorenen Zeitkapseln, wie Kometen auch genannt werden, zu enthüllen und 4600 Millionen Jahre bis zum Beginn des Sonnensystems zurückzublicken, als ein dichter Kometenschwarm die Rohstoffe der zukünftigen Welten schuf.

Leider gibt es keine Rakete, die eine Raumsonde auf Kometengeschwindigkeit beschleunigen kann. Stattdessen musste Rosetta wie eine kosmische Billardkugel im inneren Sonnensystem herumhüpfen, die Sonne beinahe viermal umkreisen, um in zehn Jahren genügend Geschwindigkeit zu erreichen. Auf dieser Karussellroute hat Rosetta den Asteroidengürtel zweimal betreten und Gravitationskicks von nahen Vorbeiflügen an Mars (2007) und der Erde (2005, 2007 und 2009) erhalten.

Aber Rosettas Reise endet nicht mit Beginn der Umkreisung ihrer Beute so weit weg von der Erde und ganz nah des Jupiters. Die Raumsonde wird bei Tschurjumow-Gerasimenko bleiben, während sich dieser der Erde nähert und die Sonnenwärme sein Oberflächeneis verdampfen lässt, und Gasstrahlen Staubkörner ins All katapultieren, was ihn zu einem bärtigen Stern werden lässt, wie dies unsere Vorfahren nannten. Während mehr als einem ganzen Jahr wird Rosetta beim Flug um die Sonne den Kometen umkreisen und seinen Kern erfassen und analysieren sowie die Änderungen in seiner Aktivität aufzeichnen. Während das Eis des Kometen verdampft, untersuchen Instrumente den Staub und die Gaspartikel, die den Kometen umrunden und einen Schweif bilden, während sie von den Sonnenwinden und dem interplanetaren Magnetfeld beeinflusst werden.

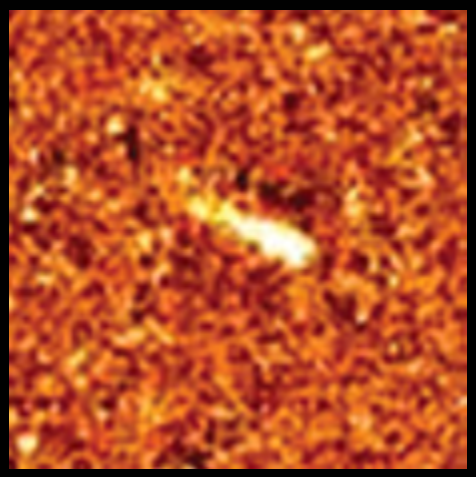
Terra incognita

Rosettas Odyssee zum Kometen Tschurjumow-Gerasimenko ist allein schon eine Entdeckungsreise. Die Raumsonde ist an vielen Flugkörpern vorbeigekommen, wie auch dem größten von allen, Lutetia: Rosettas Vorbeiflug am 130 Kilometer langen Asteroiden am 10. Juli 2010 mit einer Geschwindigkeit von 54.000 km/h und nur 3170 km Abstand.

Rosettas weitere Vorbeiflüge passierten Objekte wie dem Asteroiden Steins 2008 und den Staubschweif (unten) des kometenähnlichen Asteroiden P/2010 A2 auch 2010, die ebenfalls Fragmente einst größerer Elemente zu sein scheinen.

Lutetia repräsentiert eine ältere, primitive Miniwelt. Einige Teile ihrer Oberfläche sind ungefähr 3,6 Milliarden Jahre alt, während andere für astronomische Standards mit 50–80 Millionen Jahren jung sind. Diese jungen Bereiche Lutetias sind Erdrutsche, die wahrscheinlich von Vibrationen besonders starker Erschütterung in der Nähe stammen. Geröll von diesen unzähligen Aufschlägen liegt nun als pulverisiertes Gestein mit einer Dicke von mehreren hundert Metern auf der ganzen Oberfläche. Des Weiteren gibt es auf der ganzen Oberfläche verteilt Felsblöcke. Einige sind 300 bis 400 Meter breit, was ungefähr der Hälfte des Ayers Rock in Australien entspricht.

Lutetia ist planetenähnlicher als dies auf den ersten Blick scheint. Sie ist ein dichter Asteroid, was bedeutet, dass sie bedeutende Mengen Eisen enthält, was aber nicht notwendigerweise heißt, dass ihr Kern aus Eisen ist. Die noch urzeitliche Oberfläche zeigt, dass Lutetia von der internen Radioaktivität nie heiß genug wurde, um dieses Eisen zu einem Kern zu schmelzen, wie dies bei der Erde der Fall war. Geologen bezeichnen diesen Vorgang bei dem sich die Schichten unserer heutigen Erde bildeten als Eisenkatastrophe. Dieser Asteroid ist also eine Miniaturabbildung unserer Erde zu einem ganz bestimmten Entwicklungszeitpunkt.



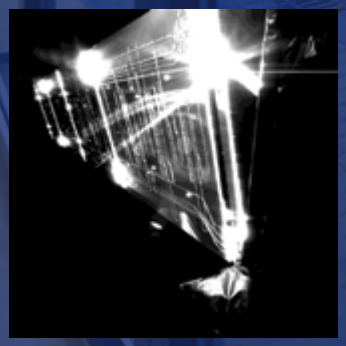
Doppelgänger

Rosettas Zwilling ist immer noch auf der Erde. Dieses Technikmodell der Raumsonde befindet sich im European Space Operations Centre (ESOC) der ESA in Darmstadt, Deutschland, von wo aus die Mission gesteuert wird. Bevor Software-Updates auf die echte Raumsonde geladen werden, werden sie zuerst an diesem Testmodell überprüft. Das Modell wird ebenfalls zu Trainingszwecken sowie *Hardware-in-the-Loop-Simulationen* für Bedienpersonal genutzt.

Rosetta ist die erste solarzellenbetriebene Raumsonde, die so weit ins All vorrückt (s. Selbstporträt-Abbildung) und 2011 ging sie in den „Winterschlaf", um wichtige Energie zu sparen, während sie weiter hinaus bis auf 790 Millionen Kilometer Abstand zur Sonne flog, um Tschurjumow-Gerasimenko zu erreichen. Jetzt ist sie stumm und wird erst am 20. Januar 2014 um genau 10.00 Uhr GMT von der Computersoftware und den vier Uhren wieder aufgeweckt.

Dann wird der Betrieb wieder aufgenommen: Die Funkkommunikation zwischen Rosetta und der Bodenstation geht über die Deep Space-Parabolantennen der ESA in New Norcia in Australien, Malargüe in Argentinien und Cebreros in Spanien, die je einen Durchmesser von 35 Metern haben und die Energie der Funksignale in einen schmalen Strahl konzentrieren, wodurch diese Distanzen von über 1000 Millionen Kilometern von der Erde erreichen. Das Deep Space-Netzwerk der NASA bietet falls nötig ebenfalls Unterstützung.

Die Geschwindigkeit, mit der Daten von Rosetta zur Erde gesandt werden können, variiert zwischen 10 und 20.000 Bits pro Sekunde. Durch die Erdrotation ist Echtzeitkommunikation jedoch nicht jederzeit möglich. Um diese Einschränkungen zu überwinden, kann Rosettas 25 Gbit Festkörperspeicher alle wissenschaftlichen Daten speichern und bei der nächsten Gelegenheit an die Erde übermitteln.



Trockener Ozean auf dem Roten Planeten?

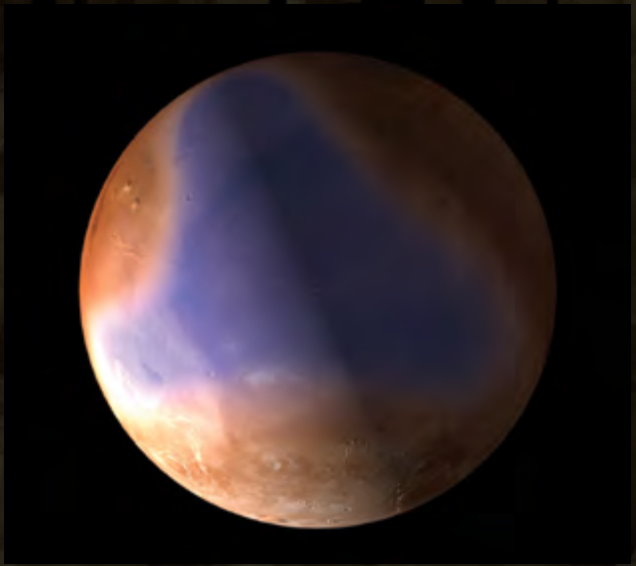
Umfassende Abdeckung des Roten Planeten durch den Mars Express der ESA bis Juni 2011, der seit Dezember 2003 in der Umlaufbahn ist. Mars ist kleiner als die Erde und weist eine Oberfläche auf, die etwas kleiner ist als alle Landmassen der Erde zusammen.

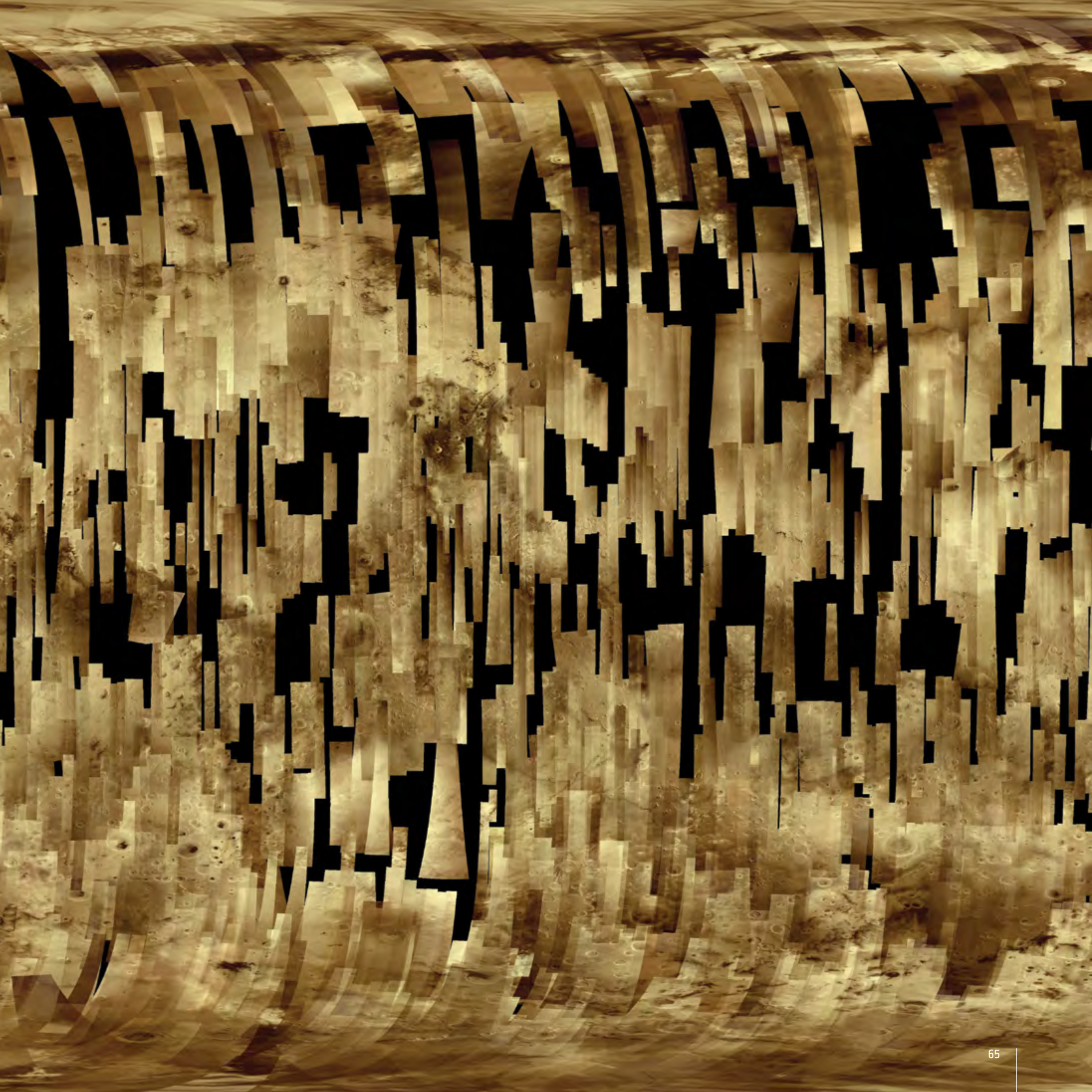
Die erste europäische Mission zum Mars hat genügend Energie, um während vieler Jahre betrieben zu werden, weshalb es sehr wahrscheinlich ist, dass die Lücken auf der Karte noch gefüllt werden, ehe die Mission zu Ende geht.

Zu den Instrumenten der Raumsonde gehören eine hochauflösende Stereokamera, die die Topographie des Planeten in 3D aufzeichnet, verschiedene Spektrometer, die die Zusammensetzung der Oberfläche und Atmosphäre analysieren, ein Partikelanalysator und ein Echolot, das die über der Atmosphäre liegende Ionosphäre und das Gravitationsfeld des Planeten analysiert und gleichzeitig die Unebenheiten auf der Oberfläche aufnimmt und die Sonnenkorona untersucht.

Mars Express hat 2005 seine 40 Meter lange Radarantenne ausgefahren, um den Forschern einen detaillierteren Blick in den Untergrund des Mars' zu geben. Dabei wurden sedimentäre felsähnliche Schichten gefunden, die von einem alten Ozeanboden unter der nördlichen Ebene des Planeten zeugen (Abb. unten), was die vorhandenen Hinweise auf eine ausgetrocknete Küstenlinie unterstützt.

Wahrscheinlich gab es zwei Ozeane: vor vier Milliarden Jahren war es wärmer und vor drei Milliarden Jahren muss das Eis im Untergrund geschmolzen sein, möglicherweise als Folge vermehrter geothermaler Aktivität, woraus Abflussrinnen entstanden, die das Wasser in tiefere Bereiche leiteten. Dieser spätere Ozean muss nur vorübergehend existiert haben. Innerhalb einer Million Jahre oder weniger muss das Wasser entweder wieder gefroren und im Untergrund gespeichert worden sein oder aber langsam in die Atmosphäre verdampft sein.





Der Gipfel des Mars’

Für Erdstandards ist der Vulkan Tharsis Tholus ein Riese. Hier ist er (oben links) mit Farbcodes je nach Höhe abgebildet, aufgenommen von der hochauflösenden Stereokamera von Mars Express. Er ist ungefähr acht Kilometer höher als seine Umgebung, wobei seine Basis ungefähr 155 x 125 km umfasst. Auf dem Mars ist er allerdings nur ein ganz normaler Vulkan.

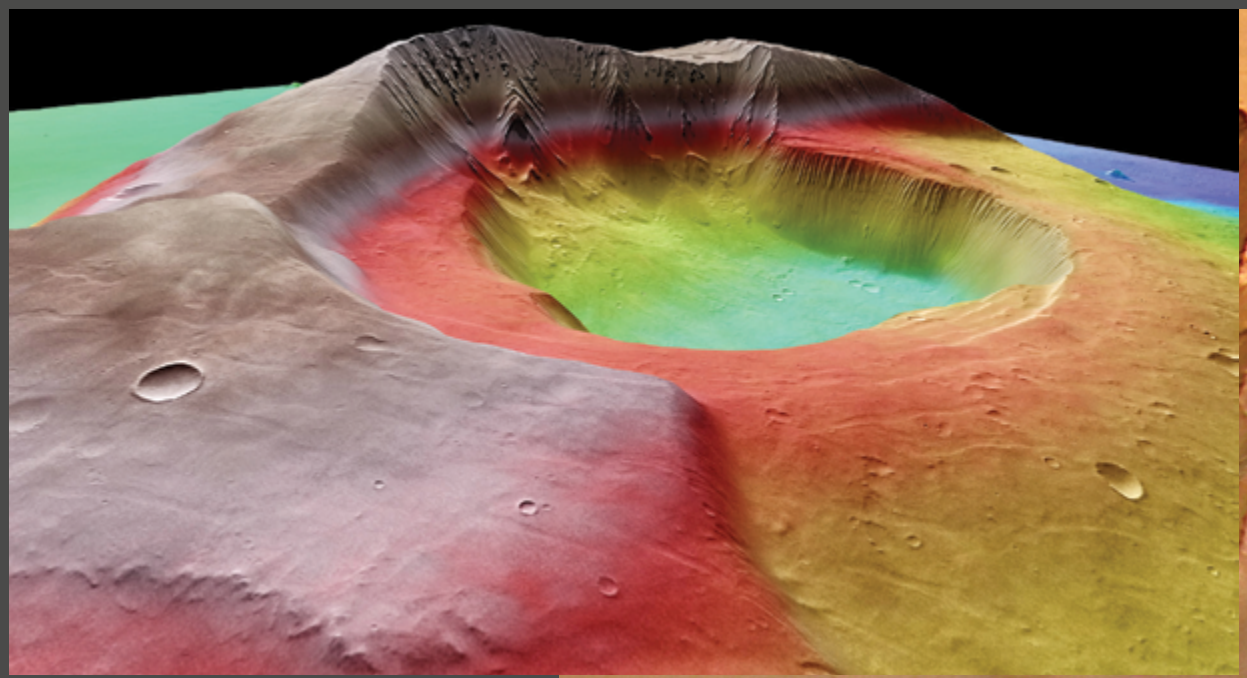
Was seine besonders schäbige Verfassung ausmacht sind seine eingestürzten Flanken und die eingefallene Caldera, entstanden durch die sich entleerende Magmakammer, worauf er sein eigenes Gewicht nicht mehr tragen konnte. Die Inaktivität von Tharsis Tholus wird dadurch verstärkt, dass seine Abhänge von Kratern übersät sind. Die Lava muss vor ungefähr 200 Millionen Jahren aus einer Fissur an der Südflanke geflossen sein.

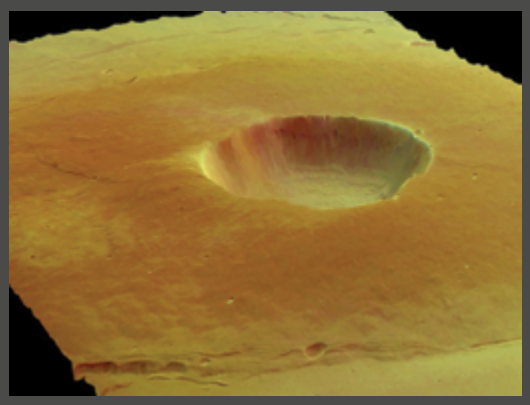
Könnte Mars geologisch noch aktiv sein? Eine der überraschendsten Entdeckungen von Mars Express war, dass in einigen Gegenden der Atmosphäre dieses Planeten noch kleine Mengen Methan vorhanden sind, was entweder auf vulkanische Aktivität hindeutet, die unter der Oberfläche weiterhin vor sich brodelt, oder es auf dem Mars Leben gibt. Methan hat einen relativ kurze Lebenszyklus von 300 bis 600 Jahren in der dünnen Atmosphäre, ehe es durch die Ultraviolettstrahlung aufgebrochen wird, weshalb es aktiv nachgefüllt werden muss. Weitere nicht biologische, geologische Prozesse sind auch möglich, aber diese benötigen dazu flüssiges Grundwasser. Die Resultate von Mars Express wurden von weiteren Studien mit Erdteleskopen bestätigt und ebnen den Weg für weitere Marsmissionen.

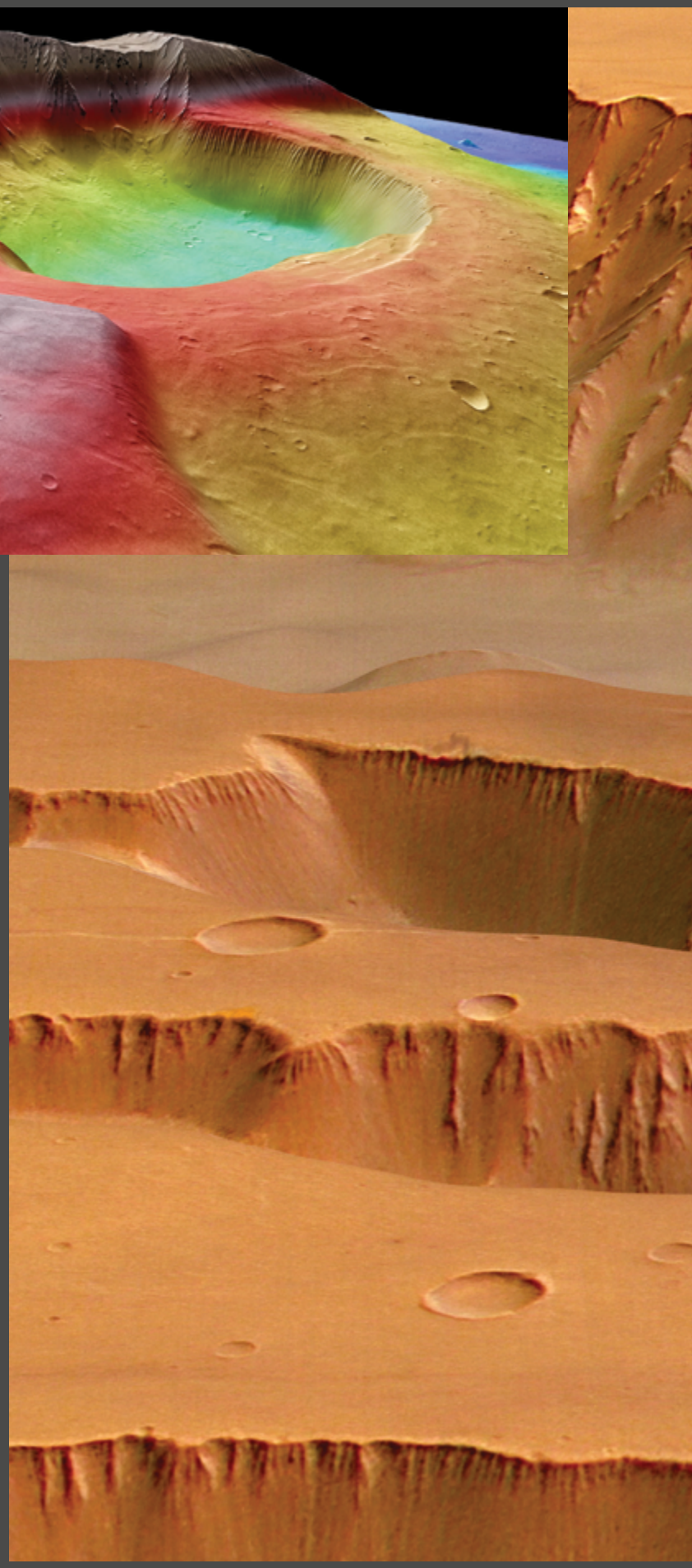
Weitere überraschende Entdeckungen von Mars Express umfassen die relative Fülle an Grundwasser an der Marsoberfläche im Laufe der Zeit sowie die Klimageschichte. Möglicherweise waren vor nur wenigen hunderttausend Jahren Gletscher aktiv.

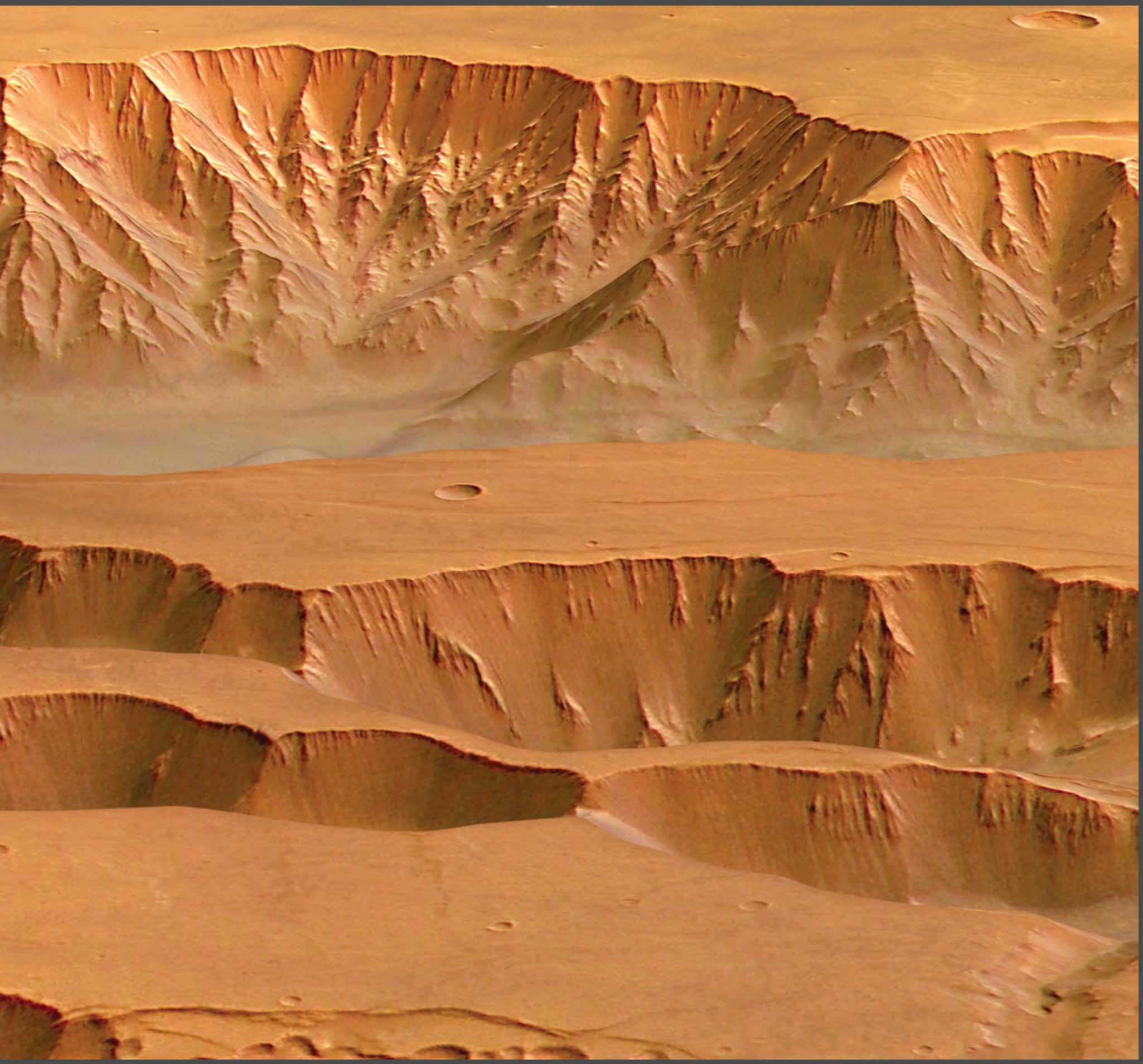
Die ESA plant eine zweiteilige Rückkehr auf den Roten Planeten. Ab 2016 untersucht der ExoMars Orbiter der Agentur die Spurengase in der Atmosphäre, inklusive Methan. Zwei Jahre später wird der ExoMars Rover mit einem Bohrer und einem Instrumentenarsenal für exobiologische und geochemische Analysen landen.

Der Landeort des Rovers wird aus einer detaillierten Liste ausgewählt werden. Die Resultate von Mars Express haben einige spektakuläre Oberflächenmerkmale aufgezeigt. Das Hauptbild zeigt einen Teil von Coprates Catena, eine große Talmulde in der Mitte eines über 4000 Kilometer langen Canyonsystems, das Valles Marineris genannt wird. Zu bemerken ist der weiche Boden der Mulde im Vergleich zu den Küstenoberflächen, was wohl dem von Wind hergewehten Staub zu verdanken ist. Staub beim Herunterfallen in die Caldera des Vulkans Albor Tholus aufgenommen durch die 3D-Perspektive der Kamera (Mitte links).







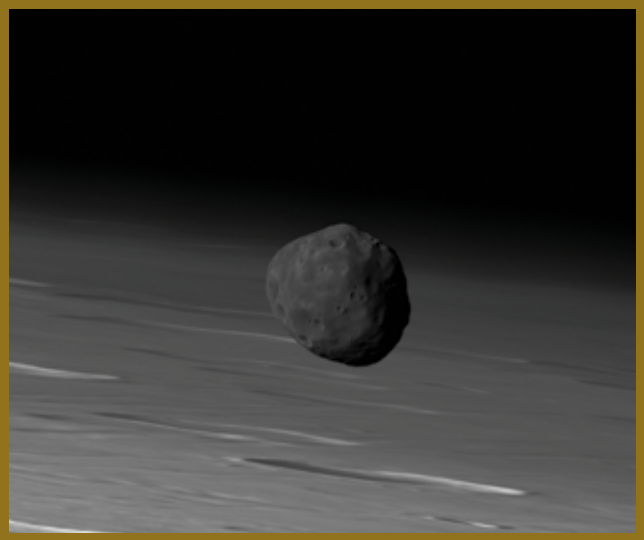


Phobos' Oberfläche

Eine größere europäische Stadt würde auf dem Marsmond Phobos gerade Platz finden: hier aufgenommen von Mars Express. Der kartoffelförmige Mond misst 27x22x18 Kilometer. Die von Kratern übersäte Oberfläche könnte noch vor dem Roten Planeten mit menschlichen Spuren versehen werden. Phobos bietet einen vergleichsweise einfachen Zugang, da er luftlos ist und am Rand der Anziehungskraft von Mars liegt, weshalb für die Landung und den Start weniger Kraftstoff nötig ist.

Mars Express, der zur Analyse eines Planetenkörpers entworfen wurde, hat sich vielseitig genug gezeigt, um diesen kleinen Begleiter zu studieren. Die elliptische, am Pol vorbeiführende Umlaufbahn führt ihn alle fünf Monate zu Phobos. Die parallelen Täler auf der Oberfläche könnten Risse sein, die möglicherweise durch den gewaltigen Einschlag entstanden sind, der den größten Krater auf dem Planeten gebildet hat: Stickney (links) mit seinen 10 Kilometern Durchmesser könnte den gesamten Körper auseinandergebrochen haben, bevor Phobos' Anziehungskraft ihn wieder zusammengezogen hat.

Aus der Nähe wird Mars Express von diesem Gravitationsfeld leicht vom Kurs abgelenkt. Dieser Effekt beträgt nicht mehr als wenige Millimeter pro Sekunde und beeinträchtigt die Mission in keiner Weise. Dennoch bietet es den Wissenschaftlern einen einzigartigen Einblick in den Mond, um zu sehen, wie seine Masse verteilt ist. Die niedrige Dichte von Phobos zeigt, dass sein Inneres große Mengen porösen Metalls und/oder Wasser enthält. Es scheint zudem, dass es sich um eine Art hohlen Schuttberg handelt, der uns zu seinem noch unbekannten Ursprung führen könnte. Möglicherweise ist er wie der Nachbarmond Deimos ein Asteroid, der vom Gravitationsfeld des Mars' eingefangen wurde, oder aber eine Art Schuttscheibe, die sich um den Mars bildete, nachdem ein großer Einschlag auf seiner Oberfläche stattfand.

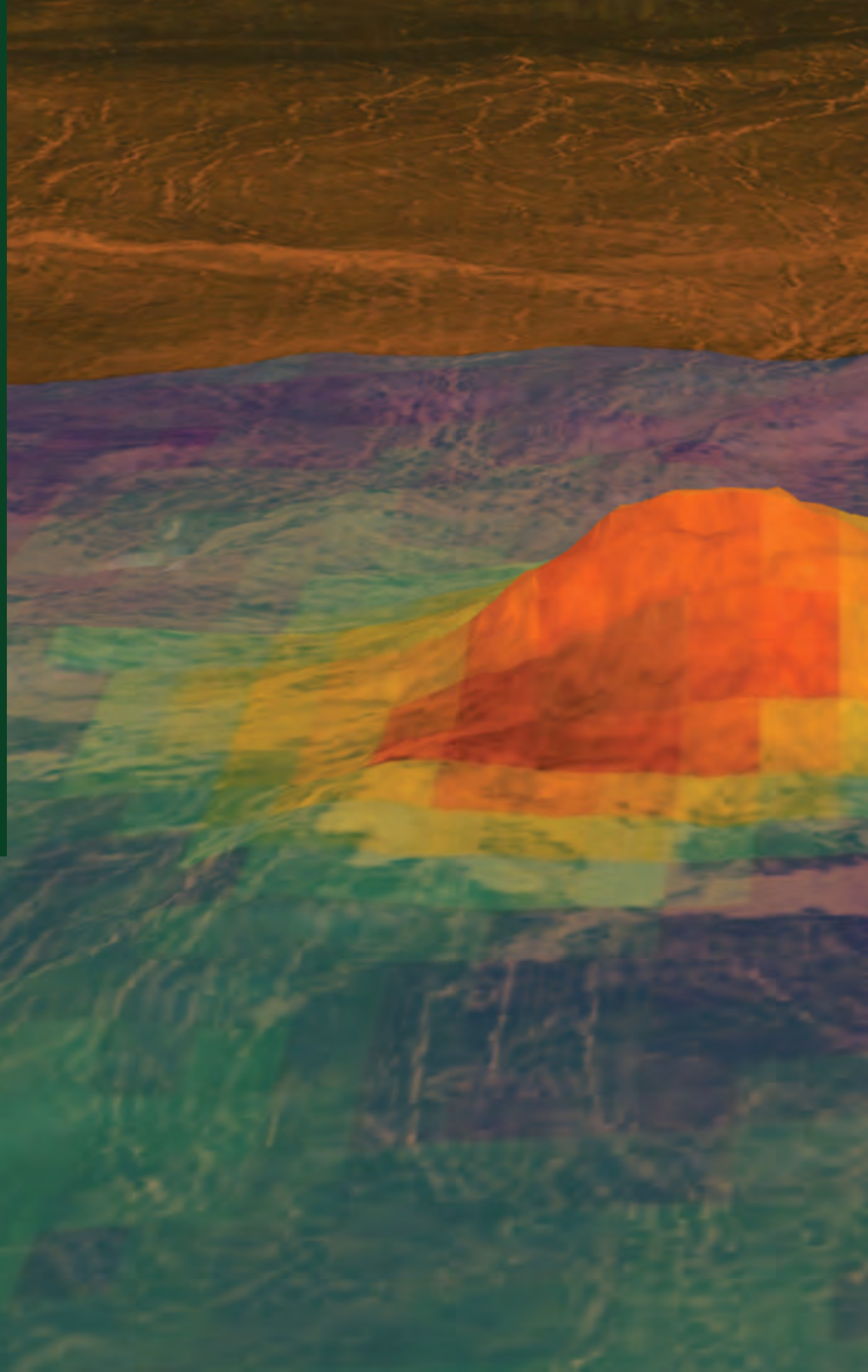


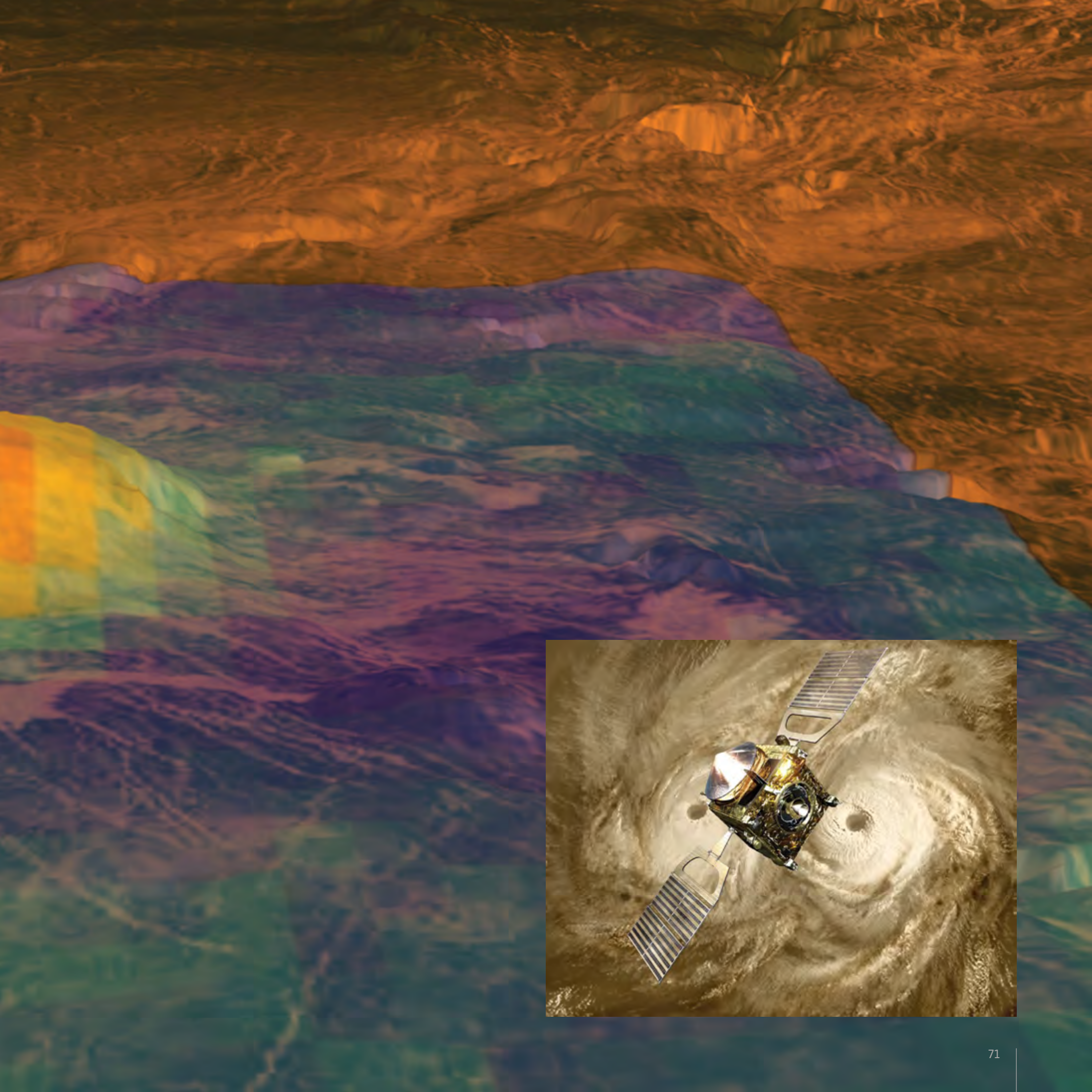
Willkommen in der Hölle

Seit 2006 befindet sich die Schwesternsonde Venus Express in der Umlaufbahn des Erdzwillings. Venus ist nur etwas kleiner als die Erde, aber die Geschichte der beiden ist ganz anders verlaufen. Die scheinbar ruhige Wolkenoberfläche verbirgt eine Höllenwelt mit einem vernichtenden Atmosphärendruck, der 90 Mal größer als jener der Erde ist, Schwefelsäurewolken, Hurrikane, die in vier Tagen um den Planeten rasen und eine Oberfläche, die vor Hitze glüht. Obwohl nur ein Zehntel des Sonnenlichts den Boden erreicht, fangen die Gase und Partikel in der unteren Atmosphäre genug Energie auf, um die Temperatur dramatisch anzuheben. Ein Treibhausgaseffekt von unglaublichem Ausmaß findet hier statt.

Die Oberfläche ist der der Erde auch überhaupt nicht vergleichbar. Venus scheint einer der geologisch aktivsten Planeten im Sonnensystem zu sein. Die Oberfläche zeigt keine Spuren der Geschichte, die älter als 500 Millionen Jahre sind, und die Plattentektonik, die unseren Planeten immer noch bestimmt, scheint angehalten zu sein, insofern sie überhaupt je stattgefunden hat. Stattdessen hat eine massive vulkanische Aktivität alles freigefegt.

Ein Geheimnis, das Venus Express zu lüften sucht, ist ob der Planet noch geologische Aktivität zeigt. Die Instrumente scheinen Schwefeldioxid in der Atmosphäre erkannt zu haben, die von Vulkanausbrüchen in den letzten 10 bis 20 Millionen Jahren zu stammen scheinen. Weitere Infrarotmessungen zeigen relativ junge Lavaflüsse, wie diese beispielsweise hier auf dem Vulkan Idunn Mons sichtbar sind. Die rotorange Wärme im Vergleich zur Umgebung deutet auf eine fehlende Verwitterung hin, was zeigt, dass die Ausbrüche kürzlich erst stattgefunden haben müssen. Die Flüsse sind in geologischen Begriffen erst 2,5 Millionen Jahre alt, möglicherweise sogar weniger, und könnten sogar heute noch aktiv sein. Wonach jetzt gesucht wird ist der endgültige Beweis einer Eruption.



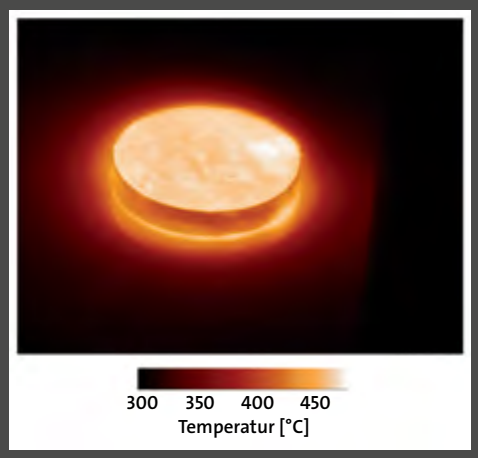


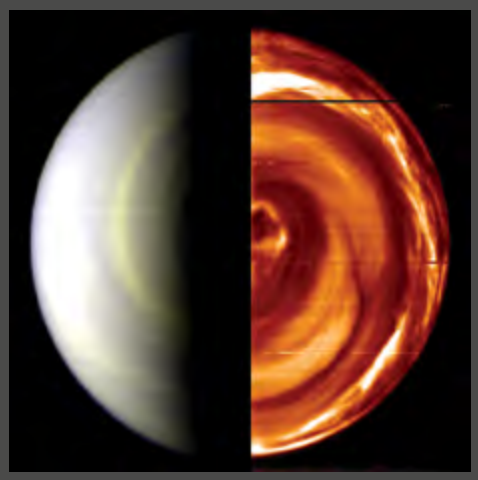
Ein fremdes Licht

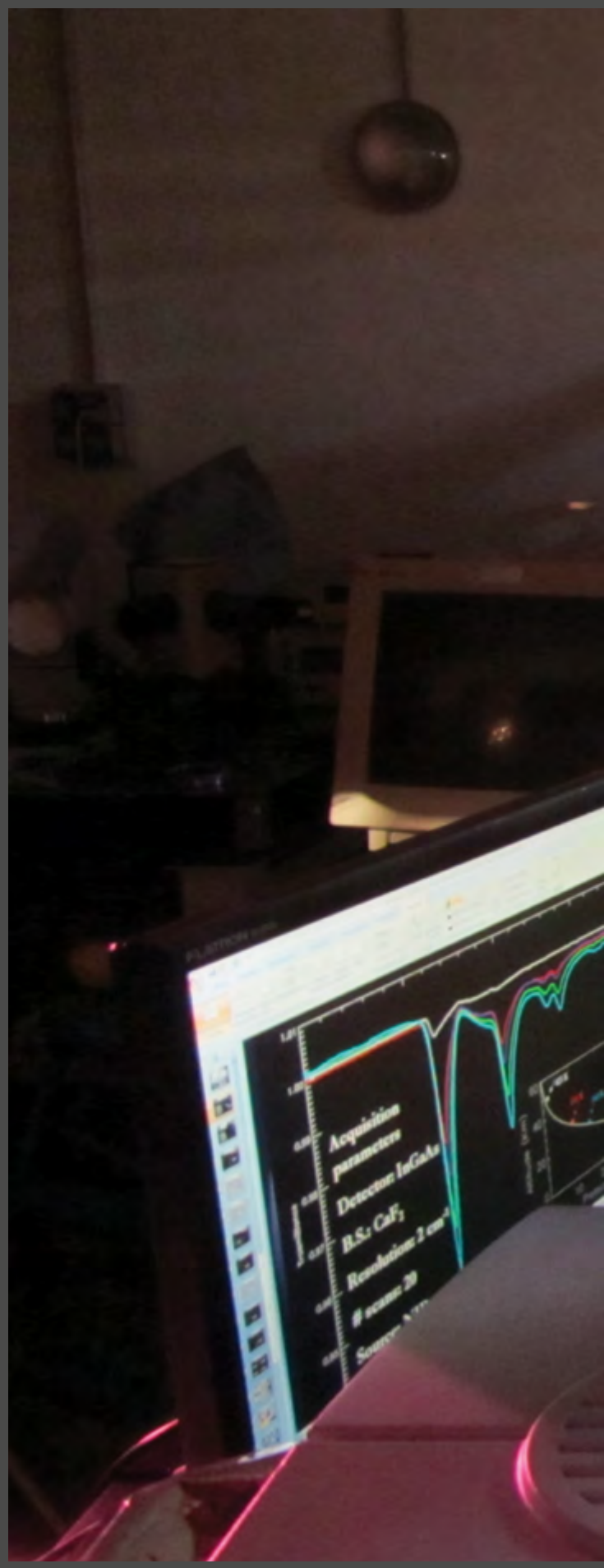
Eine Wissenschaftlerin wird von hellem Licht überflutet, während sie im römischen Institute of Astrophysics and Planetology des italienischen Institute of Astrophysics die Venus-Atmosphäre auf der Erde zu reproduzieren versucht.

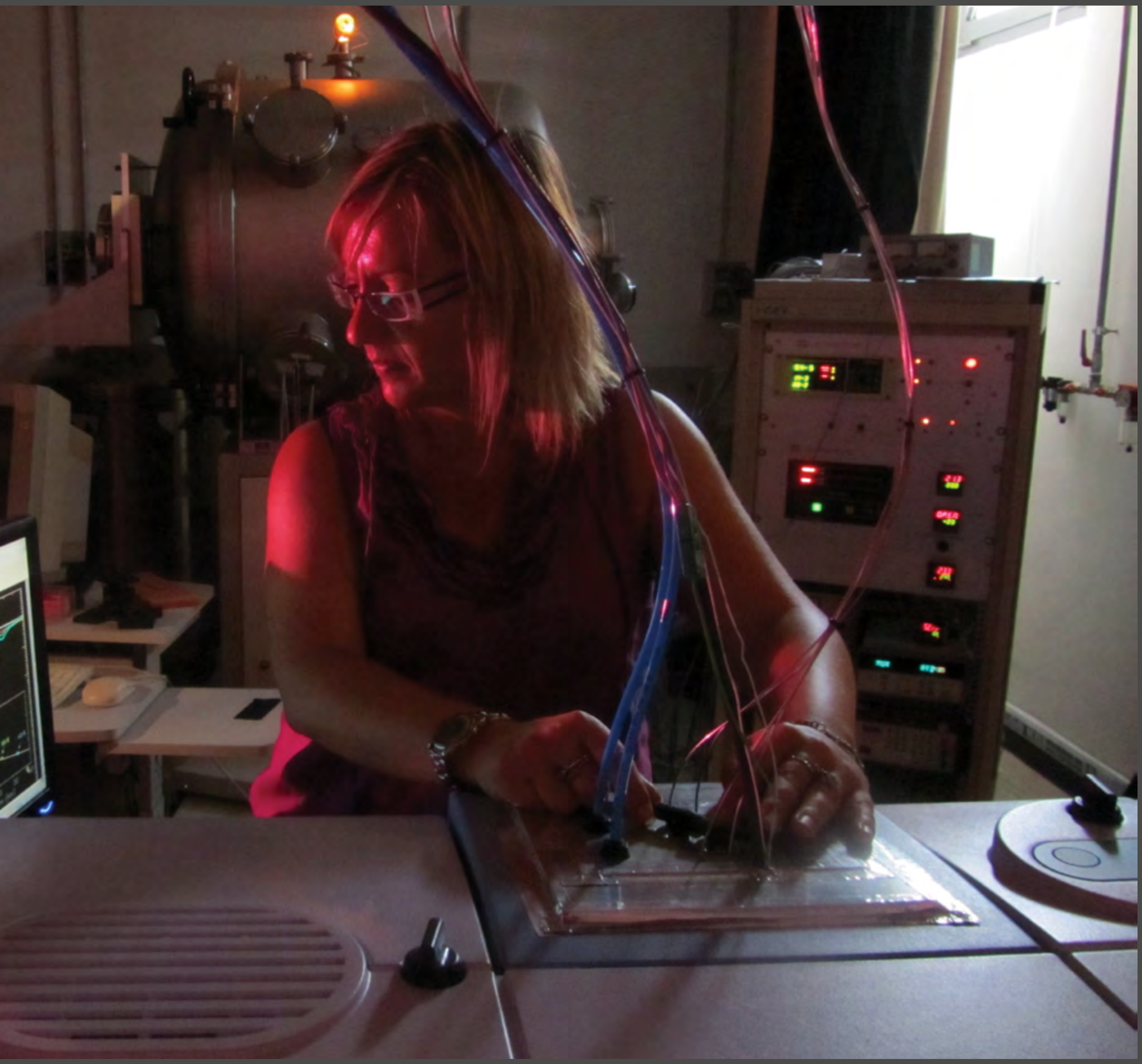
Während die Oberfläche der Venus für unsere Augen durch Wolken verborgen bleibt, kann die Infrarotkamera von Venus Express ein Fenster öffnen und uns die Geheimnisse der unteren Atmosphäre und Oberfläche zugänglich machen. Aber die unglaubliche Hitze an der Planetenoberfläche, zusammen mit den Temperaturen, die mehr als 480 °C erreichen können, also mehr als doppelt so hoch wie ein Backofen, können die Beobachtungen erschweren. Die Lösung ist es, die extremen Bedingungen im Labor zu reproduzieren. In Rom werden Testzellen mit erhitztem, unter Druck stehendem Kohlendioxid gefüllt, damit deren Muster der Lichtabsorption aufgezeichnet werden kann.

Gleichzeitig hat das Planetary Emissivity Laboratory des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt DLR in Berlin Gesteins- und Staubproben (unten) wie Basalt und Granit erhitzt, um so deren Leuchtkraft unter dem Infrarot- und sichtbaren Spektrum zu analysieren. Da die relative Stärke dieses Leuchtens für jedes Material einzigartig ist, könnten die Resultate dabei helfen, das Gestein auf der Venusoberfläche zu identifizieren und die unbekannte geologische Geschichte zu lüften.









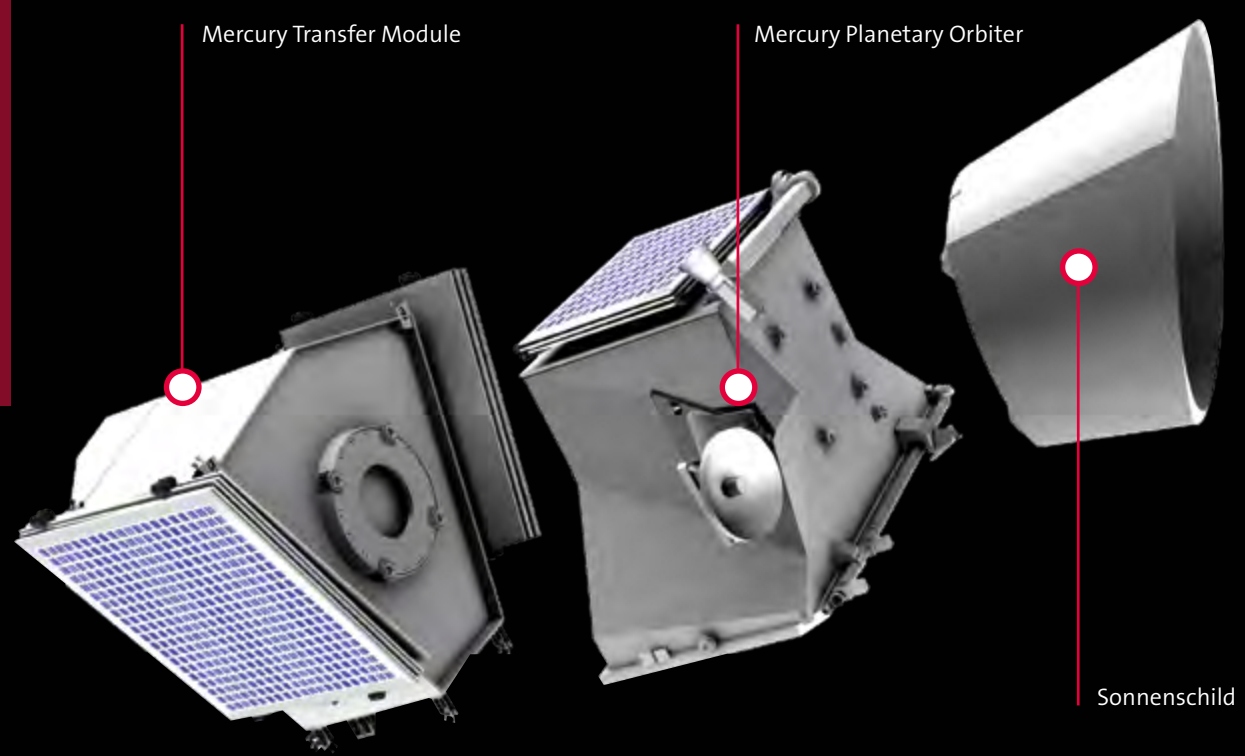
Mission zum fehlenden Teil

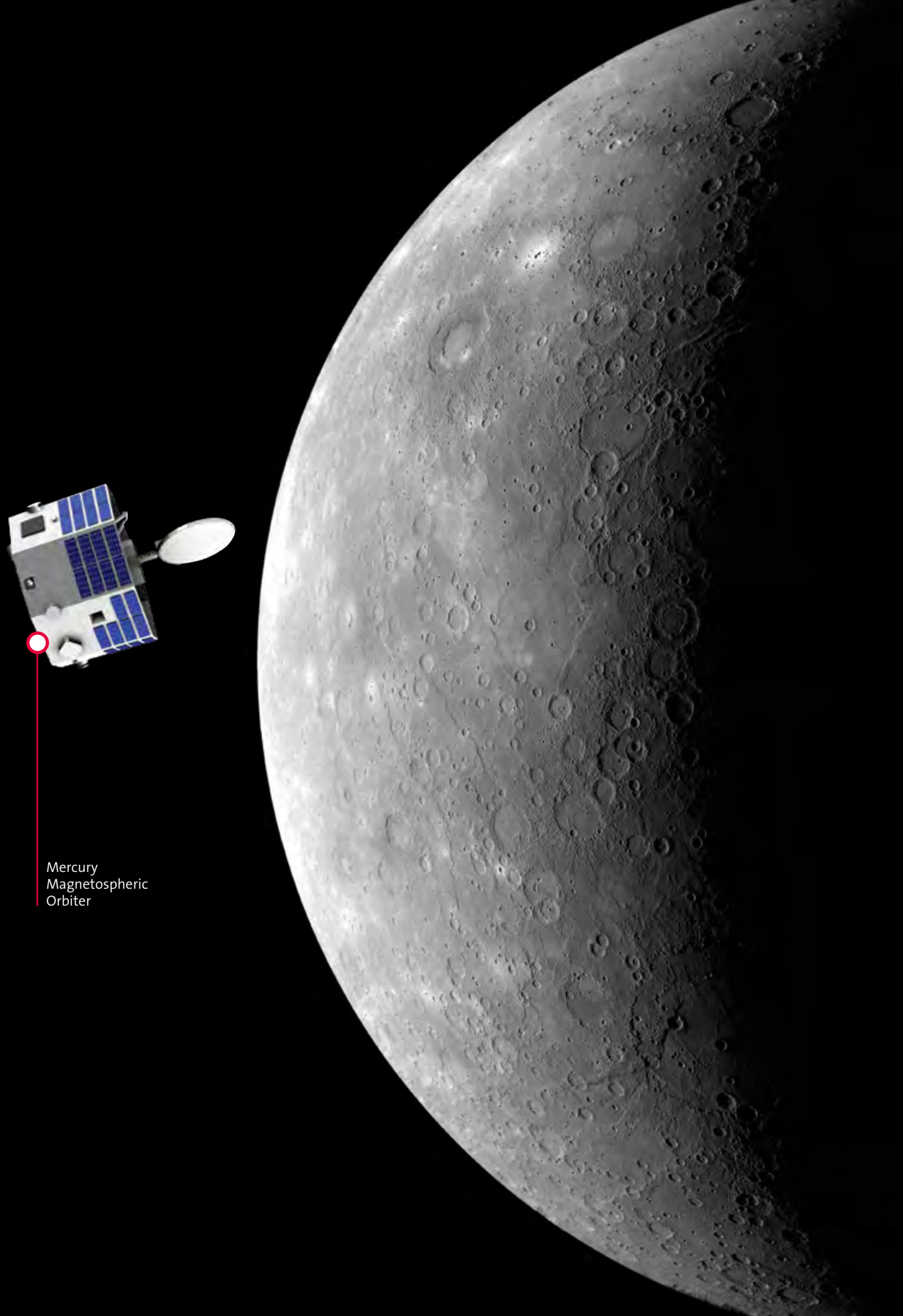
Merkur befindet sich in der Nähe der blendenden Sonne und ist deshalb von der Erde aus schlecht zu beobachten und noch schlechter zu erreichen. Er gilt als das fehlende Glied im Sonnensystem.

Die für 2016 geplante Mission BepiColombo der ESA zum Merkur soll den Umstand ausnutzen, dass es sich eigentlich um zwei Missionen in einer handelt. Nach etwas mehr als sechs Jahren werden die beiden Raumsonden beginnen die verschiedenen Aspekte dieser mysteriösen Welt zu analysieren. Der Merkur ist der dichteste Körper im Sonnensystem mit der ältesten und unveränderten Oberfläche und den größten Temperaturvariationen von über 600 ºC zwischen Tag und Nacht.

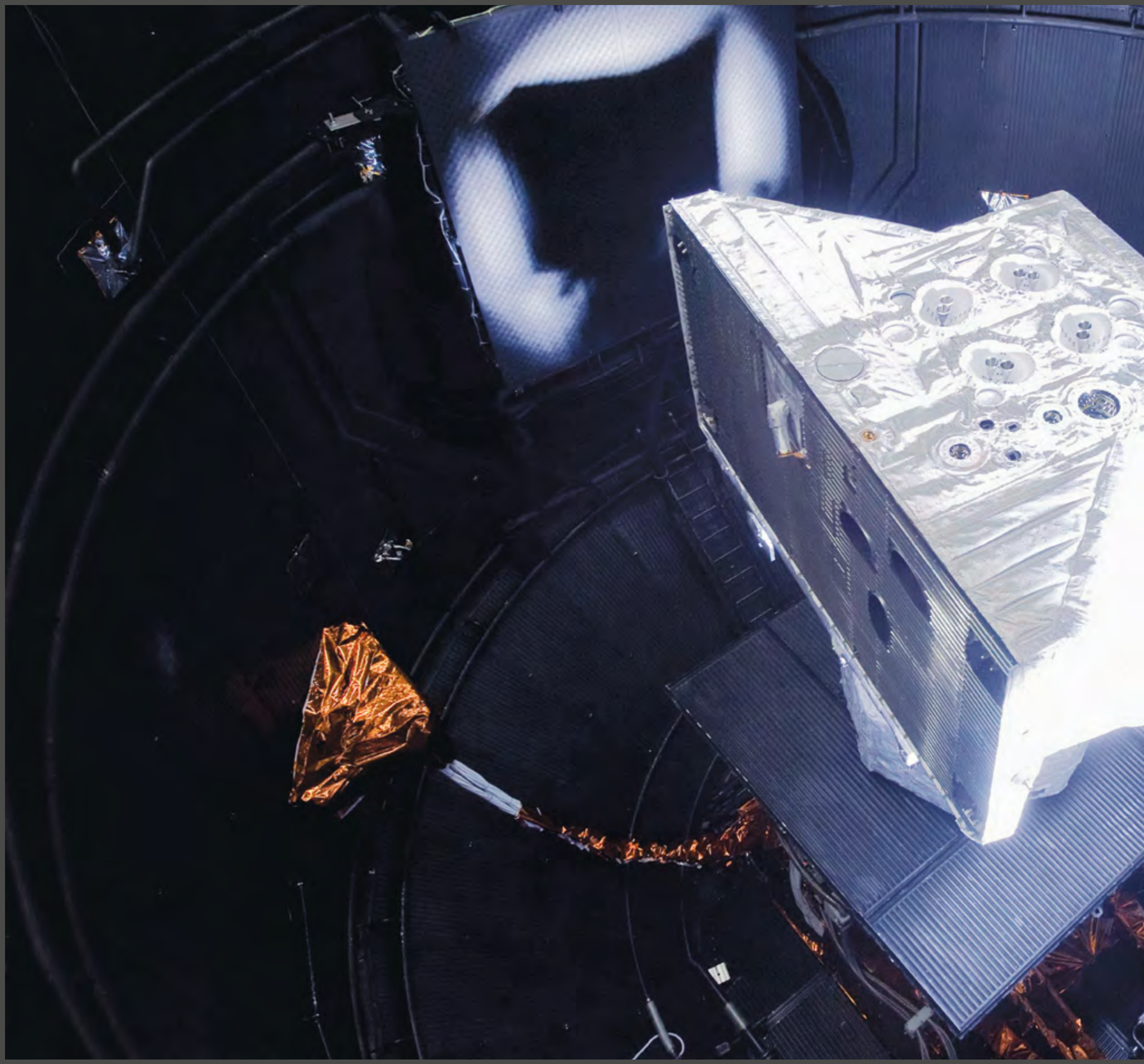
Japans Mercury Magnetosphere Orbiter wird das Magnetfeld untersuchen während der Mercury Planetary Orbiter der ESA den Planeten mit wenig Abstand umkreisen wird, um optische und spektrale Karten zu entwerfen, Merkurs verkümmerte Exosphäre und den Kern zu untersuchen.

Bei der Umkreisung des Merkurs ist die große Nähe zur Sonne ein Problem, da der bedeutende Gravitationseinfluss die Raumsonde wie Wasser in einem Abfluss ansaugt. Eine weitere Sektion, das Mercury Transfer Module wird mit dem von Sonnenenergie gespeisten elektrischen Antrieb an der Erde und zwei Mal an Venus vorbeifliegen, um BepiColombo in die Position zu bringen, von wo aus sie von Merkurs Gravitation angezogen werden kann. Normalerweise führen die interplanetaren Missionen der ESA Vorbeiflüge durch, um Energie zu sammeln. Aber BepiColombo wird die Vorbeifluege dazu nutzen, um seine Geschwindigkeit zu reduzieren.





Mercury
Magnetospheric
Orbiter



Im Scheinwerferlicht

Ein Ingenieursmodell des Mercury Planetary Orbiters von BepiColombo der ESA wird der zehnfachen Sonnenstrahlung ausgesetzt, wie wenn es in Merkurs Abstand von der Sonne kreist. Die Abbildung zeigt die Tests im Large Space Simulator, der größten Vakuumkammer in Europa im ESTEC Technikzentrum der ESA in den Niederlanden.

Normalerweise simuliert die Kammer die Weltraumumgebung in der Erdumlaufbahn. Um die Bedingungen bei Merkur zu repräsentieren waren bedeutende Zusatzinstallationen nötig. Die 19 Lampen der IMAX-Projektorenklasse simulieren das Sonnenlicht und blieben unverändert, aber die 121 sechseckigen Spiegel, die das Licht derzeit in die Kammer umleiten bieten einen viel engeren Fokus für mehr Intensität.

Die Lichtstärke ist so hoch, dass raffinierte Designs nötig waren, um die Temperatur der Kammer in sicheren Grenzen zu halten: eine zusätzliche Thermoumhüllung entlang der Simulatorenwände hat den Fluss des flüssigen Stickstoffs mehr als sechs Mal erhöht, wobei der Verbrauch der –196 °C kalten Flüssigkeit jetzt bei durchschnittlich 5000 Litern pro Stunde für den zwei Wochen dauernden Test liegt.

Um solch extremen Bedingungen standhalten zu können, ist der Orbiter selber in hochtemperaturbeständige Decken und besondere Beschichtungen eingehüllt, um ihn kühl zu halten, während im Innern ein Labyrinth von Wärmerohren liegt. Diese Rohre funktionieren wie eine kurzgeschlossene Version menschlicher Schweißdrüsen, die übermäßige Hitze von der Sonnenseite der Sonde auf einen Radiator auf der anderen Seite lenken. Dieser 2x3,6 Meter große Radiator ist wiederum durch ein einzigartiges Set beschichteter Gitter geschützt, was ermöglicht, dass der heiße Planet nicht „sichtbar“ ist und die Sonde dennoch Hitze in den tiefen Weltraum entlassen kann.

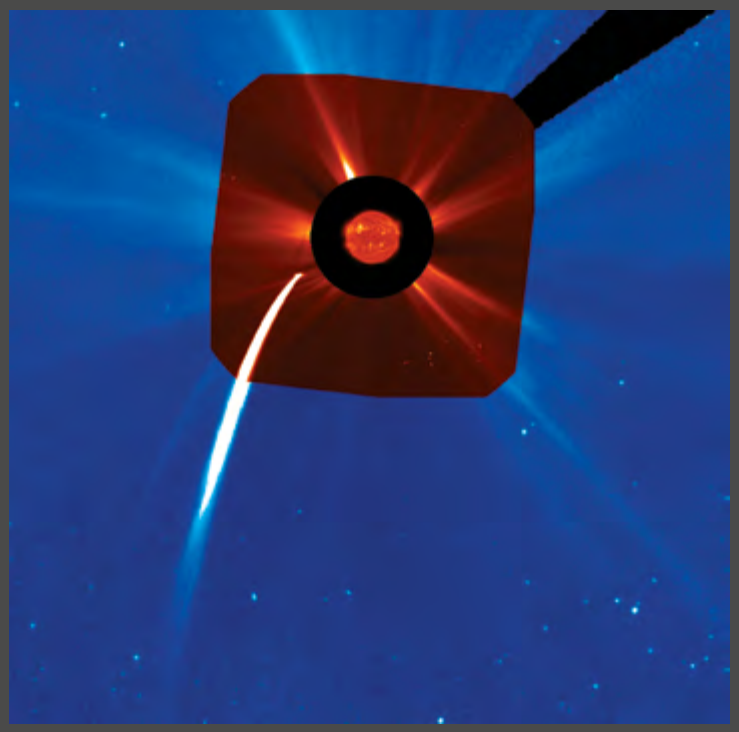
Die Tests für BepiColombo begannen 2010 mit Testversionen des japanischen Mercury Magnetosphere Orbiter und des Sonnenschilds der ESA, das ihn auf der Reise zum Merkur kühl hält. 2012 wurde die ganze Raumsonde getestet: beide Orbiter und das Sonnenschild sowie das Transfermodul, das alles durch den interplanetaren Weltraum bringt.

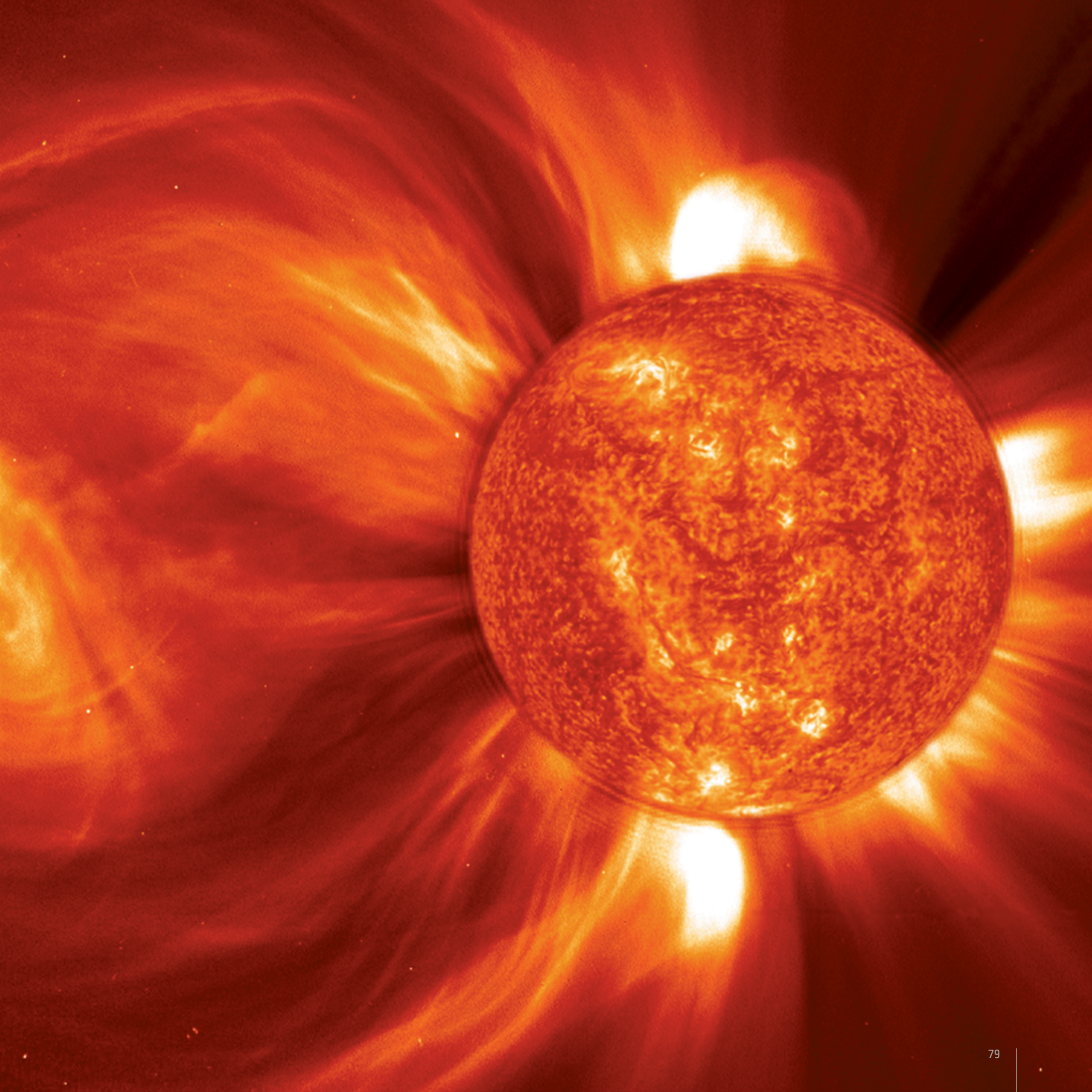
Feuer am Himmel

Mehr als 99,85 % der Masse unseres Sonnensystems ist in diesem Zetralgestirn konzentriert. Die Sonne hat einen Durchmesser von ungefähr 1,4 Millionen Kilometern – oder 110 Erden aneinandergereiht – und besteht fast ausschließlich aus Wasserstoff (73,5 % der Masse), Helium (24,8 %) und 1,7 % schwereren Elementen wie Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Neon, Magnesium, Silikon und Eisen. Die Sonne dreht an Ihrem Äquator schneller als an den Polen. Diese differentielle Rotation spielt eine wichtige Rolle beim Aufbau des Magnetfeldes der Sonne, dem Ursprung der gesamten Sonnenaktivität. Die Masse der Sonne beträgt ungefähr 2.000.000.000.000.000.000.000.000 Tonnen oder 330.000 Erden, wobei sie pro Sekunde ungefähr 10 Millionen Tonnen leichter wird, da der Wasserstoff im Kern verbrennt und gleichzeitig als Sonnenwind Material ins All schleudert. Diese Rate steigt, wenn ein koronaler Massenauswurf (CME) stattfindet, wie dies 2002 wie auf der Abbildung beobachtet werden konnte. In diesem Fall werden pro Stunde über eine Milliarde Tonnen ins All geschleudert. Diese CME (Seite gegenüber) wurde vom ESA-NASA SOHO Solar & Heliospheric Observatory Weitwinkel- und Spektrometrischen Koronograph aufgezeichnet, wobei die Sonnenscheibe darübergelegt wurde (nicht maßstabsgerecht), aufgenommen vom Extreme Ultraviolet Imaging Telescope (EIT). Der Helligkeitsunterschied ist so stark, dass es nicht möglich ist, die helle Scheibe der Sonne und die schwach leuchtende Korona gleichzeitig zu betrachten.

Die enorme Masse der Sonne führt dazu, dass sie zum Gravitationszentrum des Sonnensystems geworden ist, an dem Kometen regelmäßig vorbeifliegen. SOHO ist der produktivste Kometenjäger in der astronomischen Geschichte: Bis April 2012 wurden über 2100 gefunden, die meisten davon von Hobbyastronomen, die im Internet Echtzeitbilder von SOHO durchforsteten. Ende 2011 sah SOHO den Kometen Lovejoy bei einer fast unglaublichen Selbstrettungsaktion, nachdem er durch die heiße Korona der Sonne geflogen war (oben links).

2017 wird die Solar Orbiter-Mission noch näher zum Merkur gelangen, um die Sonne und ihre Korona aus nächster Nähe zu beobachten. Einige der Beobachtungstechniken waren schon auf dem Test-Mikrosatelliten Proba-2 dabei, der 2009 ins All geflogen wurde und die Sonne von der Erdumlaufbahn aus betrachtet.



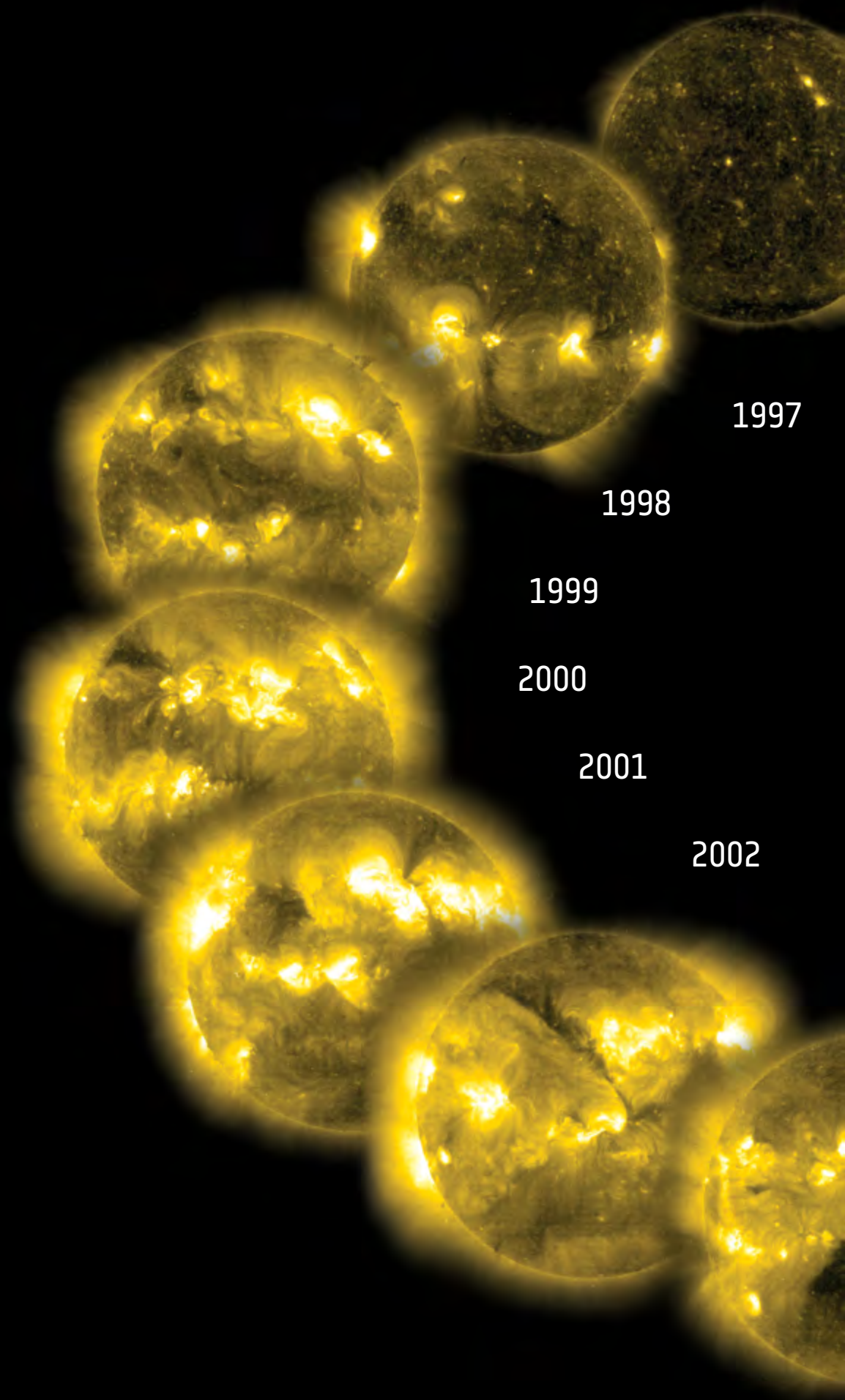


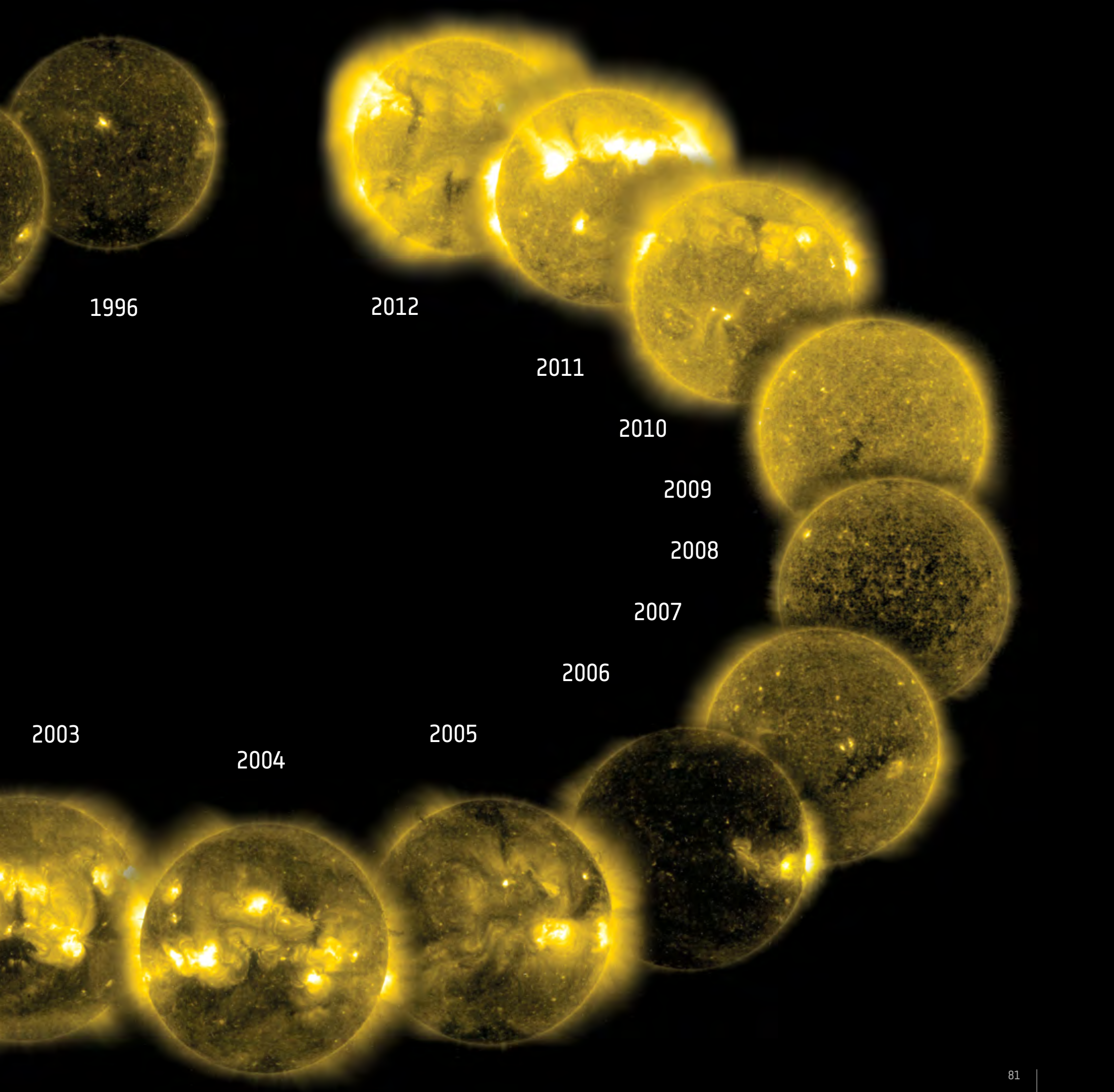
Der Zyklus der Sonnenflecken

Unsere zuvor ruhige Sonne bewegt sich. Während das Sturmgesicht der Sonne sich stets ändert, folgt es einem elfjährigen Zyklus, der von periodischen Änderungen im allbestimmenden Magnetfeld beeinflusst ist. Dabei erreicht sie das Sonnenfleckenmaximum wenn die Sonnenflecken, Sonneneruptionen und koronalen Massenauswürfe häufig stattfinden und danach wieder das Sonnenminimum, wenn solche Ereignisse relativ selten sind. 1996 und 2008 hat je ein Sonnenfleckenminimum stattgefunden während das letzte Sonnenfleckenmaximum 2001–03 war. Das letzte Minimum war ungewöhnlich tief und lang, während das nächste Maximum 2013/2014 stattfand.

Diese jährlichen Porträts der Sonne im extremen Ultraviolettbereich stammen von SOHO, der auf 1,5 Millionen Kilometern Abstand zur Erde in Richtung Sonne blickt und diese immer im Auge behält. Dieser Sonnenwächter wurde in Europa entworfen und gebaut, wobei die Instrumente aus Europa und den USA stammen. SOHO wurde 1995 ins All geflogen und folgt der Sonne während eines kompletten Sonnenfleckenzyklus', der jetzt ungefähr zu Dreivierteln abgelaufen ist.

SOHO hat die ersten Bilder je von der turbulenten Außenhülle eines Sterns sowie der Sonnenflecken darunter ermöglicht. Dies hat die Entdeckung dynamischer Sonnenphänomene wie koronale Wellen und Sonnentornados ermöglicht. SOHO hat unsere Fähigkeit revolutioniert, das Weltraumwetter voraussagen zu können, da wir jetzt drei Tage im Voraus von zur Erde gerichteten Störungen wissen und die gesamte Sonnenstrahlung sowie Variationen im extremen Ultraviolettfluss aufzeichnet, was für das Verständnis des Einflusses der Sonnenveränderungen auf unser Klima fundamental ist. Die SOHO-Bilder sind im Internet beinahe in Echtzeit verfügbar. Experten rund um die Welt nutzen SOHO-Bilder und -Daten, um das Weltraumwetter vorherzusagen, das unseren Planeten beeinflusst und das Programm zur Weltraumlageerfassung (SSA, Space Situational Awareness) der ESA für Betriebsvorhersagen solcher Ereignisse vorzubereiten.




1996
2012
2011
2010
2009
2008
2007
2006
2003
2004
2005

Ein Streifen Sonne

Eine 360 °C Ansicht der Aurora Borealis, aufgenommen vom Weltraumfotografen Sebastian Voltmer in der Bergregion Kirkenes in der Polregion Norwegens, ganz im Norden Europas. Diese tanzenden Lichter im Himmel sind eine sichtbare Erscheinungsform des Kampfes, der stets über unseren Köpfen stattfindet.

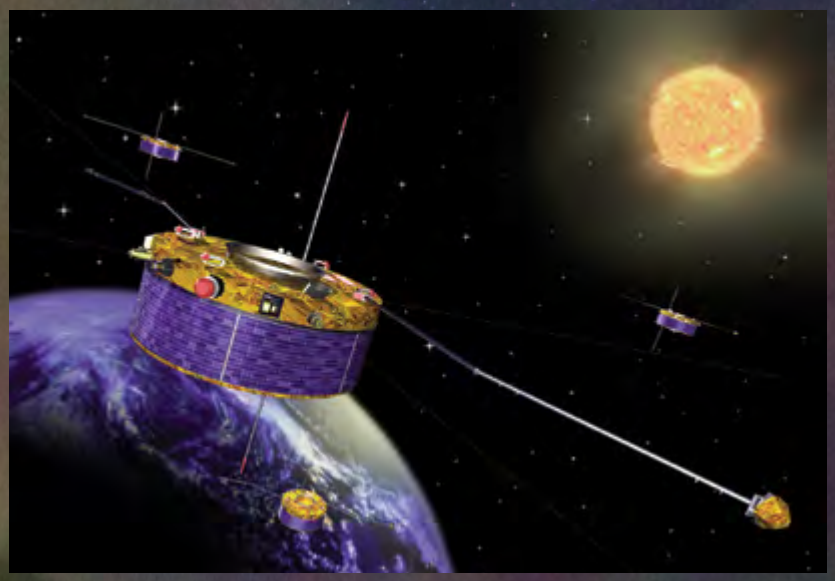
Geladene Partikel der Sonnenwinde kollidieren jeden Tag mit dem Magnetfeld unseres Planeten. Der größte Teil wird abgewendet, aber einige werden eingefangen und beschleunigt bis sie auf die Atmosphäre treffen, was dann das Nordlicht und unsere Strahlungsringe bildet. Manchmal werden die Sonnenwinde turbulent und heftig, was das Magnetfeld der Erde durcheinanderbringt und hochenergetische Partikel schafft. Diese Stürme in der Magnetosphäre können elektrische Systeme von Satelliten und am Boden beeinträchtigen. Im schlimmsten Fall können sie wichtige elektronische Bestandteile zerstören und Satelliten und andere Elektrotechnik kaputtgehen lassen.

Während SOHO und Proba-2 die Sonne und deren Emissionen beobachten, verfolgt die Cluster-Mission der ESA die Details zu deren Einfluss auf die Erde. Dieses Satelliten-Quartett im Formationsflug sammelt 3D-Ansichten wie dieser ewige Strom subatomischer Partikel – die Sonnenwinde und das integrierte Magnetfeld – die magnetische Schutzhülle der Erde, die Magnetosphäre, beeinflusst. Die Satelliten fliegen in elliptischen Umlaufbahnen, die sie von wenigen hundert Kilometern Abstand zur Erde bis auf 125.000 Kilometer am entferntesten Punkt führen.

Cluster hat einen unglaublichen Datenreichtum geliefert, der dabei hilft, das Weltraumwetter zu verstehen. Ein immer wiederkehrendes Ereignis im Zwischenspiel der Magnetosphäre mit den Sonnenwinden ist die Verbindung des Erdmagnetfeldes mit dem der Sonne, was den Eingang von energetischen Sonnenpartikeln ins erdnahe System ermöglicht. Solche Prozesse gleichen einem natürlichen Teilchenbeschleuniger, der Einblick in das Verhalten der Magnetfelder im ganzen Universum sowie anderweitig unbekannte Verhaltensweisen im Herz von Kernfusionsreaktoren bieten – bis hin zur Sonne. Ähnlich haben es die verschiedenen Cluster-Satelliten den Wissenschaftlern ermöglicht zu verstehen, wie das Nordlicht entsteht.

Mehr als Eintausend Wissenschaftsteams weltweit arbeiten mit Clusterdaten und die Mission ist kürzlich noch interessanter geworden, da die Community mit einer Ausschreibung einer Experimentgelegenheit dazu aufgefordert wurde, Ideen für den wissenschaftlichen Raumsondenbetrieb und -beobachtung vorzuschlagen, eine Neuheit in der Raumfahrtgeschichte.

Die Mission hat auch eine praktische Seite: Sie zeigt die Umgebung, in der Raumsonden wie Navigations- und Kommunikationssatteliten funktionieren müssen. Da Sonnenpartikel so gefährlich sein können, können sie die Elektronik beschädigen, weshalb Clusters Resultate beim Design zukünftiger Satelliten helfen könnten.



Polerkundung

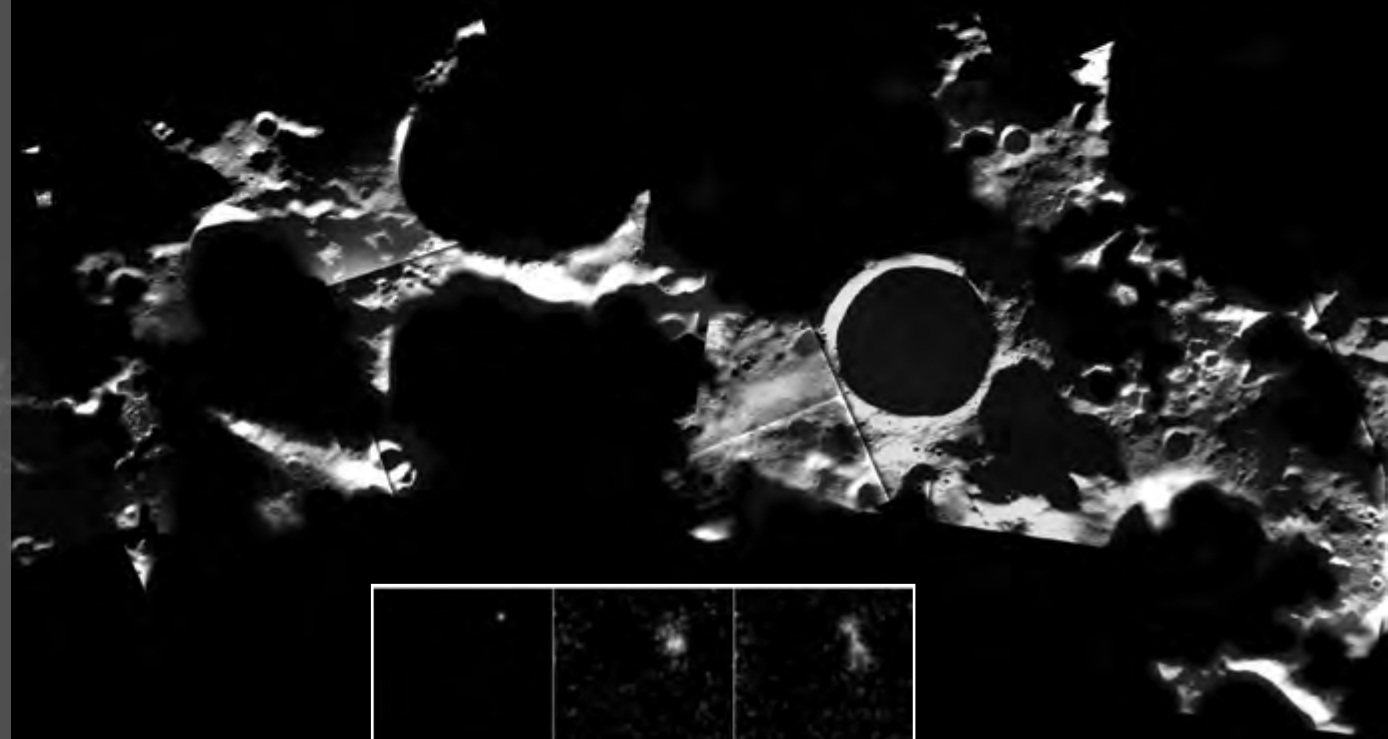
Das Bildermosaik des SMART-1 Orbiters der ESA zeigt den Südpol des Mondes – ein vielversprechendes Gebiet im Sonnensystem.

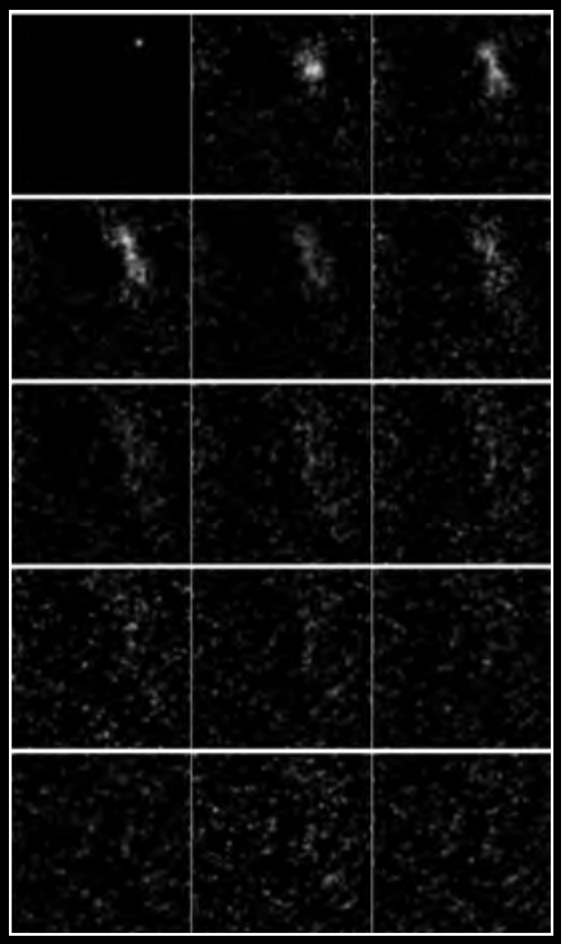
Die Mondrotation ist so, dass die Sonne die Pole nur in einem niedrigem Winkel erreicht. Untersuchungen der schattigen Tiefen der Polkrater, an die nie Sonnenlicht kommt, zeigen Wasserstoffreserven, die auf Wasser oder andere flüchtige Stoffe hindeuten, was wiederum als Trinkwasser oder Kraftstoff für zukünftige Kolonisatoren genutzt werden könnte. Gleichzeitig bleiben die Gipfel in der Nähe beinahe immer im Sonnenlicht. Ein beinahe konstanter Gipfel ewigen Lichts wurde in der Nähe des Shackleton-Kraters links in der Mitte dieses Mosaiks gefunden (zweite links vom großen Amundsen-Krater mit den gut erkennbaren Zentralgipfeln). Der beinahe kreisrunde Boden von Shackleton liegt hier im Schatten neben dem hellen Nordkamm. Solch ein von der Sonne beschienener Gipfel bietet viel Sonnenenergie für eine zukünftige Mondbasis.

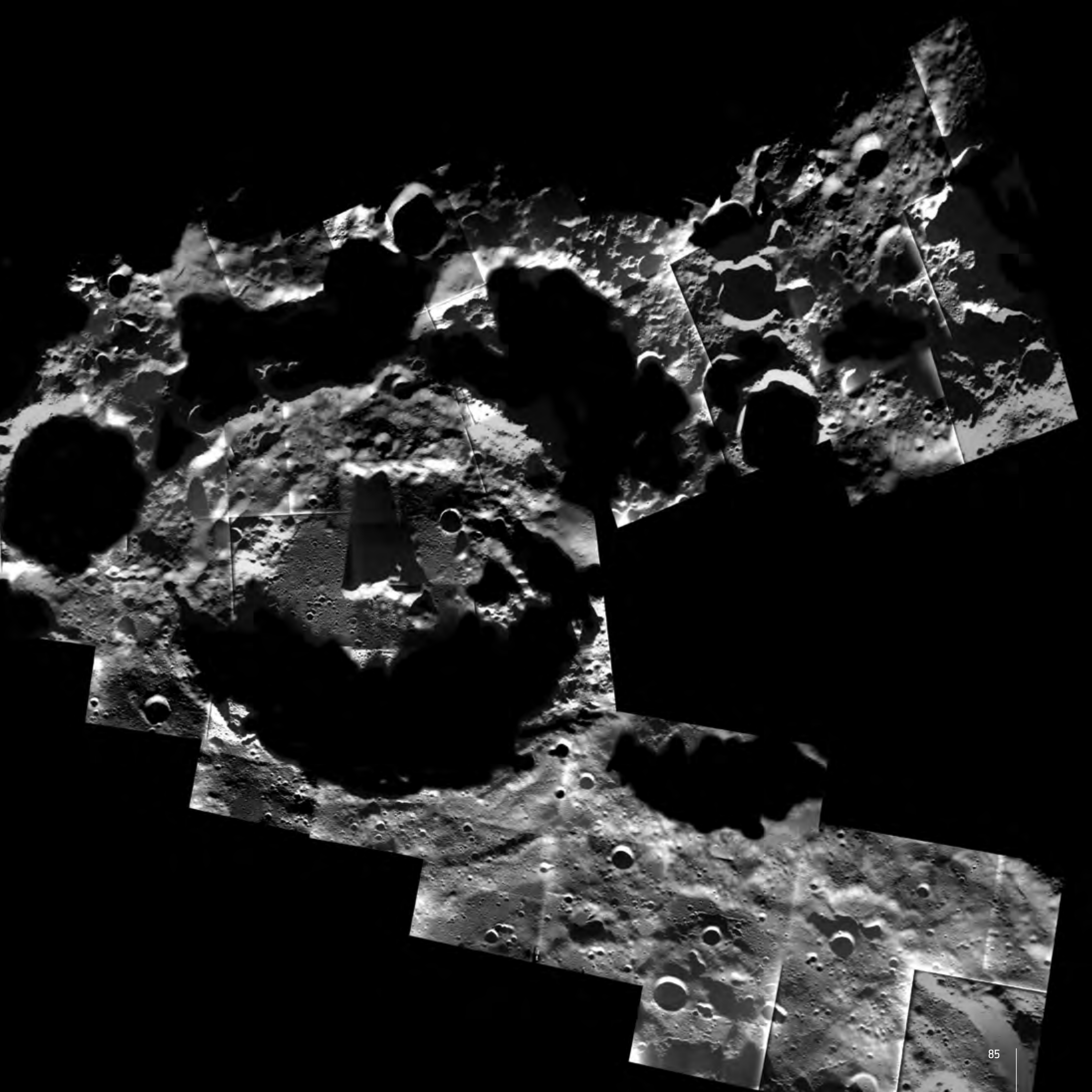
Dieser Ort würde eine willkommene Abwechslung von der extremen Hitze und Kälte auf dem Rest des Mondes bieten. Ein jeweils zwei Wochen dauernder Mondtag kann Temperaturen von über 100 °C erreichen (die Apollo-Astronauten landeten an den milden Mondmorgen), während in der wiederum vierzehn Tage langen Nacht Temperaturen bis –150 °C möglich sind.

Manchmal wird der Mond auch achter Kontinent genannt und weist eine Oberfläche auf, die der von Nord- und Südamerika zusammen entspricht, wobei die Konzentrationen von Edelmetallen wie Titan, Platin und seltenen Erdelementen relativ hoch sind. Die bisherigen sechs Landungen auf dem Mond konzentrierten sich auf den Mondäquator, weshalb die höheren Breitengrade noch unerforscht sind.

SMART-1 war eine experimentelle Mission, die zwischen November 2004 und September 2006 den gesamten Mond kartierte. Ein Teil der Erfahrung, die in diesen Jahren gesammelt werden konnte, wurde angewendet, als die europäischen Instrumente mit der indischen Chandrayaan-1 Mondmission wieder zum Mond flogen. Europas erste Mondmission endete mit einem kontrollierten Crash (s. eingesetzte Abbildung) – der ersten aber nicht letzten europäischen Spur auf dem Mond.





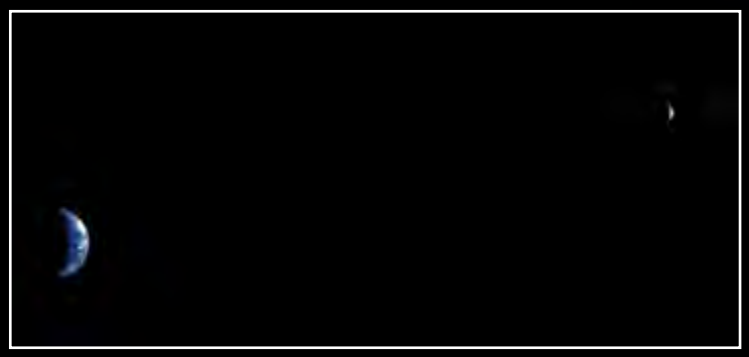


Oase in der Ferne

Die ferne Ansicht der Mondsichel stammt von ESAs Rosetta-Mission, als sie im November 2009 zum dritten und letzten Mal an der Heimat vorbeiflog. Aus 350.000 Kilometern Abstand zeigt es den von der Sonne beleuchteten Teil der Antarktis und Südamerikas.

ESA-Sonden, die ins Sonnensystem fliegen, blicken auf die Erde, um die Instrumente auf bekannten Zielen zu testen. Die eingesetzten Abbildungen zeigen Beobachtungen der Erde von Venus-Express im sichtbaren und Infrarot-Bereich, wobei das Spektrum zur Sichtbarmachung von Vegetation auf Chlorophyll (grün) ausgeweitet wurde.

Diese Resultate sind die außerirdische Sicht auf die Erde, wie dies im Echtfarbenbild der Erde und des Mondes unten sichtbar ist, aufgenommen von Mars Express aus acht Millionen Kilometern Entfernung auf seinem Weg zum Roten Planeten 2003. Im Vergleich zum Gelbgrau des Mondes ist unsere Welt klar für Leben geschaffen. Der Pazifik ist blau und die Wolken am Äquator und in der Mitte der nördlichen Breiten weiß bis hellgrau. Ungefähr zur gleichen Zeit hatte ein Sensor die molekulare Zusammensetzung der Atmosphäre, des Ozeans und einiger Kontinente analysiert. Wasser und Kohlenstoffdioxid dominieren zusammen mit Sauerstoff, Ozon und Methan: alles Hinweise auf Leben. Solche globalen Scheibenspektren sind für die Vorbereitung zukünftiger Beobachtung von Planeten wichtig, die der Erde ähnlich sind. Bei einer Erdsuchmission würden mehrere Teleskope ihre Observationen verbinden, um die Leistung eines riesigen Teleskops zu erreichen.



→ GESCHÄFTSZENTRUM IM ALL

Es gibt viele verschiedene Satellitenumlaufbahnen um die Erde. Aber nur eine Umlaufbahn bringt einen Beitrag zur Wirtschaft auf der Erde der auf mehrere Milliarden Euros geschätzt wird. Sie ist aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. Auf einer Höhe von 35.786 Kilometern über dem Äquator halten die Satelliten die Geschwindigkeit der Erdrotation, damit bleiben sie relativ zum Boden am gleichen Ort.

In der Oktoberausgabe 1945 von *Wireless World* schrieb Arthur C. Clarke – noch bevor er als Science Fiction-Autor bekannt wurde – dass man in der Umlaufbahn außerirdische Relais platzieren könnte. „Viele werden die hier vorgeschlagene Lösung als zu weit hergeholt bezeichnen, um sie ernst zu nehmen“, meinte Clarke als erst die V2-Raketen aus der Kriegszeit die Atmosphäre für kurze Zeit verlassen hatten. Aber die ersten Kommunikationssatelliten erreichten 20 Jahre danach die geostationäre Umlaufbahn.

Arbeit im Weltraum

Heute befinden sich über 350 Kommunikationssatelliten im Clarke Belt, um Rundfunk-, Telefon- und Datenverbindungen zu ermöglichen. Mehr als 24.000 Fernsehkanäle werden direkt an 270 Millionen Haushalte übermittelt, wobei sogar lokale Kabelstationen ihren Inhalt aus Satelliten beziehen. Ferngespräche und Internetdienste werden von Satelliten übertragen, was die weltraumgebundenen Systeme zu einem wesentlichen Bestandteil der weltweiten Telekommunikationsinfrastruktur macht. Haushalte in Regionen ohne terrestrisches Internet können so Breitbandinternet über Satellit erhalten, was die digitale Kluft zwischen städtischer und ländlicher Infrastruktur reduziert. Auf dem ganzen Erdball verstreute Filialen großer Unternehmen sind durch Satellitennetzwerke gejkoppelt und sogar Geldautomaten sind via Satellit mit dem weltweiten Bankennetzwerk verbunden.

Es handelt sich dabei um einen ständig wachsenden Markt und Europa steht an vorderster Front. Die ESA hat 1978 OTS-2 ins All geflogen, den ersten einer Reihe von experimentellen Satcom-Satelliten der Agentur. Auf diesem Weg wurden die führenden internationalen Telekommunikationsunternehmen Eutelsat und Inmarsat gegründet. Heute führt die Industrie dank der etablierten Technologie die Entwicklung an.

Europa an vorderster Front

Zwischen 2006 und 2011 hat sich die europäische Industrie 35 % des geostationären Satcom-Marktes

gesichert, was einer Steigerung von 14 % im Vergleich zu den fünf Jahren zuvor entspricht. Einschließlich nicht-geostationärer Satellitennetzwerke wurden 2010 Satcom-Verkäufe im Wert von ungefähr 1800 Euro gemacht, was ungefähr 60 % des Gesamtgeschäfts der europäischen Satellitenindustrie und über 80 % ihrer gesamten Exportverkäufe entspricht. Europas Raumfahrtindustrie ist finanziell eigenständig dank des steten Erfolgs im Satcom-Bereich.

Der Satcom-Markt verändert sich ständig und es bleibt keine Zeit, sich auf den Lorbeeren auszuruhen. Die ESA arbeitet daran, die europäische Wettbewerbsfähigkeit zu festigen, indem die langfristige „Fortgeschrittene Forschung zu Telekommunikationssystemen“ (Advanced Research in Telecommunications Systems(ARTES))-Initiative, die in innovative oder risikobehaftete Entwicklungen in Partnerschaft mit der Industrie investiert, vorangetrieben wird. Diese neuen Produkte, Technologien und Dienstleistungen halten die europäische Industrie an vorderster Front der Innovation, auch wenn die Konkurrenz durch die USA, Japan, Indien und Russland stetig. Nach Analyse der europäischen Satcom-Branche tritt die ESA zunehmend in öffentlich-private Partnerschaften mit Unternehmen ein, um moderne Technologien finanziell effizienter zu entwickeln. Risiken und Erträge werden mit dem Privatsektor geteilt.

Wetterwarnungen

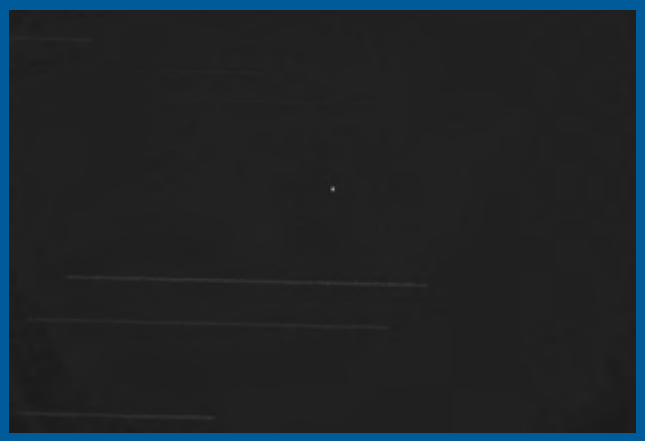
Die besondere Rolle des geostationären Orbits bietet weitere Anwendungen. Er liegt relativ weit von der Erde entfernt – ungefähr ein Zehntel des Weges zum Mond – weshalb die Auflösung von Bildern der Erde relativ gering ist, aber es ermöglicht einen einmaligenÜberblick über die Wettersysteme. 1977 sandte die ESA den ersten Meteosat Wettersatelliten in die geostationäre Umlaufbahn. Die Meteosat-Serie hat seither ununterbrochen Wetterbilder geliefert und so genügend Rohbilder für die täglichen Wettervorhersagen im Fernsehen beigesteuert. Das hatder europäischen Wirtschaft ermöglicht, in verschiedenen Branchen wie Landwirtschaft, Transport, Energie und Tourismus, Millionen von Euros zu sparen.

Welt der Ringe

Wie Saturn und die anderen Gasriesen hat die Erde auch einen Ring um den Äquator. Allerdings ist unserer bedeutend kleiner und künstlich – wie dies in der etwas übertriebenen Ansicht der aktiven Satelliten unseres Planeten sichtbar gemacht wird. Die geostationäre Umlaufbahn ist eine wirtschaftlich so interessante Region, dass sie von der Internationalen Telekommunikations-Union genau reguliert ist, wobei den einzelnen Ländern je nach geographischer Lage geostationäre Bereiche auf dem 265.000 Kilometer langen Kreis zugeordnet werden, um die Interferenzen sich überlagernden Signalen möglichst gering zu halten.

Jeder geostationäre Bereich ist nur mehrere Dutzend Kilometer breit, weshalb die geostationären Telekommunikations- und Meteorologiesatelliten mit raffinierten Kontrollsystemen ausgerüstet sein müssen, um die Positionen während ihrer Betriebsdauer von bis zu 15 Jahren präzise halten zu können. Geostationäre Satelliten neigen dazu, aufgrund der Gravitation der Erdäquatorwölbung, des Mondes und der Sonne und sogar des Druckes des Sonnenlichts abzudriften. Jegliche Abweichung der Flugstellung wird von Sensoren erkannt, die sich an der Sonne, der Erde und den Sternen orientieren, um die Schwungräder und Antriebsdüsen auszulösen. Die ESA arbeitet eng mit den Satellitenherstellern zusammen, um die vorhandenen Systeme zu verbessern und die lukrative Branche der europäischen Weltraumindustrie wettbewerbsfähig zu halten.

Das untenstehende Bild zeigt einen dieser stationären, vom Menschen gefertigten Sterne am Himmel. Diese Langzeitbelichtung zeigt Meteosat-9, gesehen von der Starkenburg-Sternwarte in Heppenheim, Deutschland, im Vergleich zu den Spuren der sich langsam bewegenden Sterne im Hintergrund.



esa

Die Antennen stehen bereit

Die Antennen sind das Geschäft der Telekommunikationssatelliten. Eine neue mobile Einheit (linke Seite) ermöglicht jetzt die direkte Überprüfung eines fertigen Satelliten, ohne dass dieser zurück zu einem speziellen Antennenteststand zurückgesandt werden muss: Teil der steten Innovationen des ESA-Programms „Fortgeschrittene Forschung zu Telekommunikationssystemen" (Advanced Research in Telecommunications Systems -ARTES), das die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen und kanadischen Weltraumtelekommunikationsindustrie stärkt.

Weitere Beispiele sind (links, auf dieser Seite) ein Hochfrequenz-Reflektor für Eutelsats Ka-Sat, der mehr Daten übertragen kann, Software aus Anwendungen für das Design und die Verbesserung der Antennen, Medien-Flottenmanager-Software für TV-Betreiber zur Planung, Zeitfestlegung und gleichzeitigen Buchung der Satellitenkapazitäten (unten).

Anders als andere Weltraummächte, deren Raumfahrtindustrie vom Militärbudget oder anderen direkten Staatsausgaben gestützt wird, muss sich die europäische Industrie auf dem offenen Markt behaupten. Die Einnahmen aus Satcom machen den Rest der europäischen Raumfahrtindustrie wirtschaftlic erst möglich.

Europa ist auf dem Satcom-Markt weiterhin führend, was ungefähr ein Drittel der weltweiten Satellitenverträge ausmacht, aber die amerikanische und neuerdings auch die indische und chinesische Konkurrenz ist groß. Die ESA fördert industrielle Forschung und Entwicklung mit gleichen Wettbewerbsbedingungen mit ARTES und ähnlichen Programmen als wichtiges Element für den Abschluss neuer Verträge auf globaler Ebene. Europa muss wenn es schon nicht kostengünstiger sein kann, wenigstens klüger handeln, um die führende Satcom-Rolle beizubehalten.

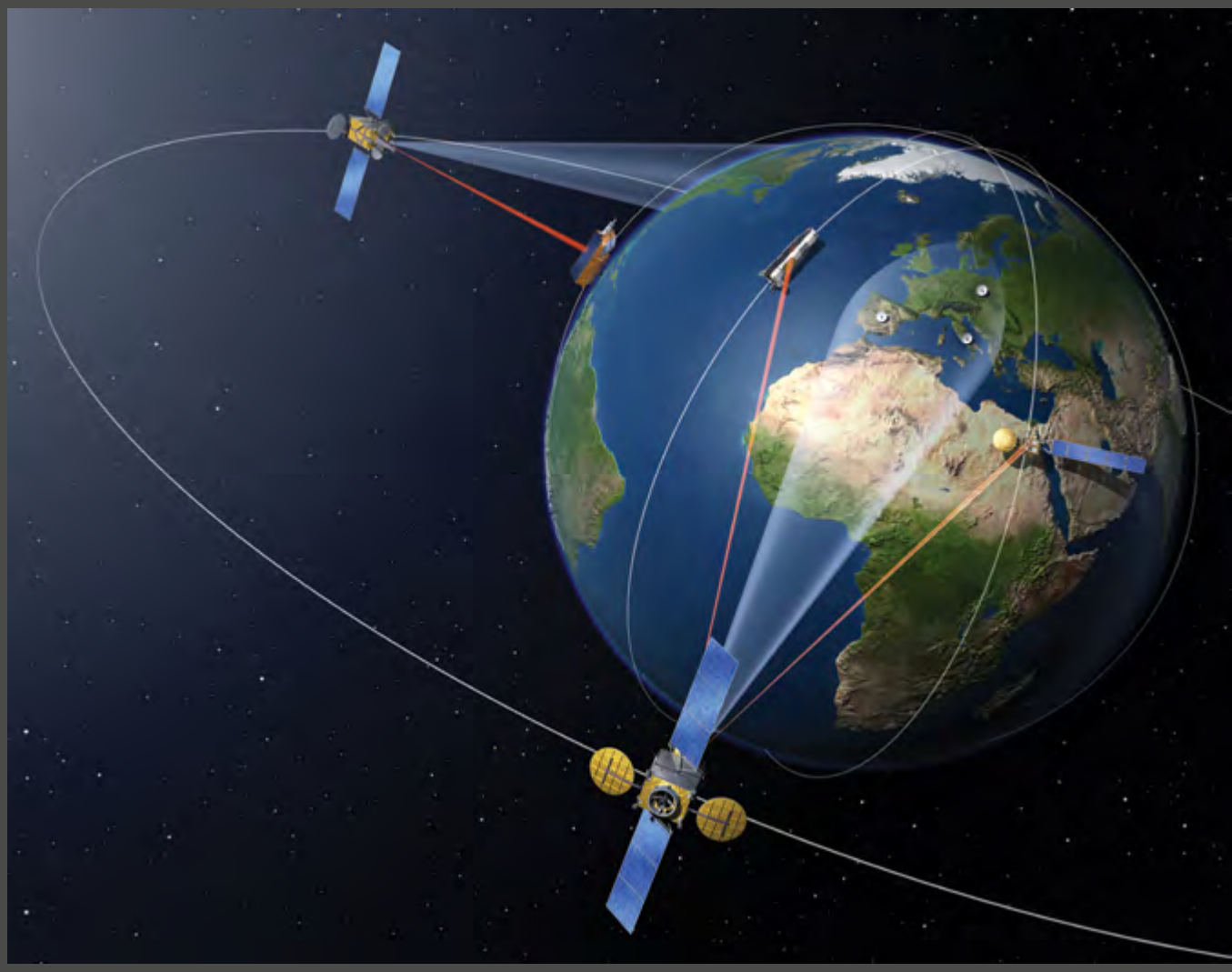
Öffentlich-private Partnerschaften

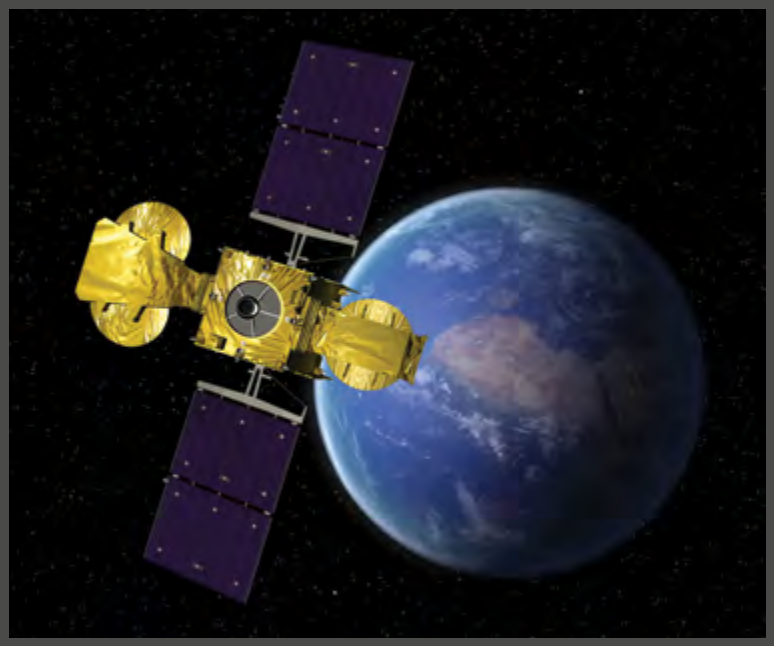
Am 18. Juni 2009 wurde der Vertrag zwischen Magali Vaissière, ESA Director of Telecommunications and Integrated Applications, Manfred Fuchs, Vorsitzender bei der OHB System AG, Petra Mateos-Aparicio, Vorsitzende von Hispasat und Angel Post, CEO von Thales Alenia Space (Spanien) während der Pariser Luftfahrtschau unterschrieben (rechte Seite): ein wichtiger Schritt im Aufbau der fortschrittlichen geostationären Satellitenplattform der ESA, SmallGEO.

Aber dieser Vertrag unterscheidet sich von einem Standard - ESA-Vertrag, er markiert den Anfang einer öffentlich-privaten Partnerschaft.

Mit den europäischen Satcoms – dem modernsten und lukrativsten Weltraumsektor – hat die ESA neue Arbeitswege erschlossen. Der Betreiber, hier Hispasat, stellt einen größeren Teil des Budgets und erhält dafür den Besitz und die Nutzung der Mission auf kommerzieller Ebene, während die ESA ihr Ziel weiter verfolgt, den technischen Fortschritt zu wahren und den europäischen Satcom-Markt zu vergrößern.

Hylas-1 war der erste Teil dieser öffentlich-privaten Partnerschaft der ESA, der 2010 die Umlaufbahn erreichte, ein Breitband-Internetsatellit von Avanti Großbritannien (unten). Weitere Beispiele sind das European Data Relay System (rechts), eine Datenautobahn am Himmel, die aus zwei miteinander verbundenen geostationären Satelliten besteht, die die großen Datenmengen verarbeiten, die von der europäischen weltraumbasierten Initiative zur Erdbeobachtung, Copernicus (s. Seite 120) produziert werden. Dazu gehören auch Astrium Services (Kasten) und die Alphasat-XL-Mission, mit Inmarsat in Großbritannien.





esa
Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace
Paris Air Show, Le Bourget
Thursday 18 June
Hispasat AG1 Contract Signature
Hispasat S.A. and OHB System AG

Reflektorleistung

Dieser im ESA-Testzentrum in Noordwijk in den Niederlanden getestete Carbon-Verbundstoff-Reflektor wird Teil des Hispasat-AG1-Satelliten werden, der als erster für die neue SmallGEO Plattform der ESA eingesetzt wird. Diese geostationäre Plattform kann eine Nutzlast von bis zu 300 kg tragen, erreicht eine Nutzlastleistung von 3 kW, und eine Lebensdauer von biz zu 15 Jahren um die europäische Industrie im Markt kleinerer Satelliten wettbewerbsfähig zu halten. SmallGEO ist eine öffentlich-private Partnerschaft zwischen der ESA, der spanischen Hispasat und der deutschen OHB.

Dieser Reflektor mit seiner ungewöhnlichen Farbe sorgt mit seinen 1,8 m Durchmesser für Breitbanddienste in Spanien und Westeuropa. Die standardmäßig verwendete Farbe Weiß würde ihn vor Extremtemperaturen schützen, was allerdings dazu führen würde, dass die Funksignale gestört würden. Das bloße Carbon hingegen hält Frequenzverluste möglichst gering. Während Während des Testlaufs in ESTEC wurde er Lautstärken von bis zu 145 Dezibel ausgesetzt, was dem Lärm von Düsentriebwerken entspricht, sowie Vibrationen, die einem Raketenstart entsprechen. Danach wurde die Frequenzstabilität und die Belastbarkeit gegenüber extremen Temperaturen getestet, um für den Start des Hispasat-AG1 2015 gerüstet zu sein.

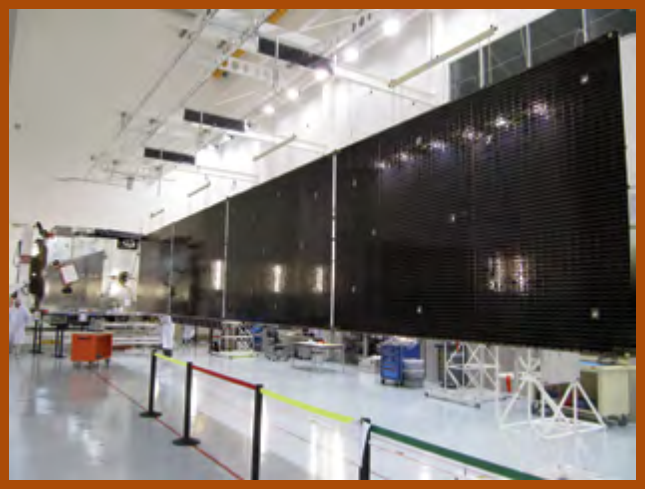
Einführung von Alphasat

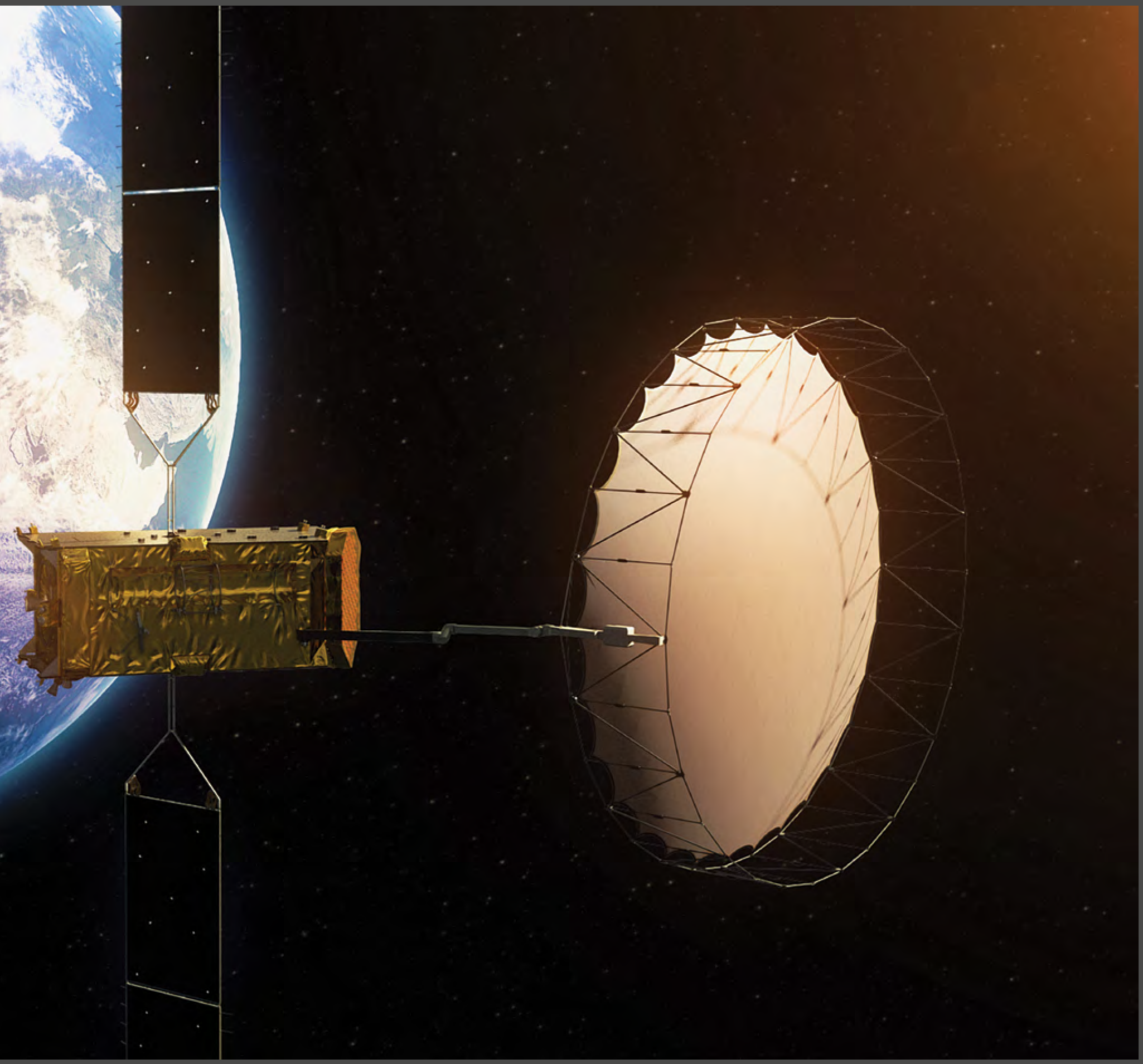
Während viele Satelliten tendenziell kleiner werden, geht der Trend bei Telekommunikationssatelliten hin zu mehr Masse. Je größer eine Satellitenplattform ist, desto mehr Transponder und bordseitige Signalverarbeitung können untergebracht werden. Außerdem kann mehr Sonnenenergie erzeugt werden und dank größerer Kraftstofftanks kann die Position länger gehalten werden, denn wenn der Kraftstoff aufgebraucht ist, ist meist auch eine Weltraummission zu Ende.

Der sechs Tonnen schwere Alphasat, der 2013 gestartet wurde, ist der erste einer neuen Generation europäischer hochleistungsfähiger Telekommunikationsplattformen, die gemeinsam von Astrium und Thales Alenia Space im Rahmen eines ESA- und CNES-Vertrages entwickelt wurden. Dabei handelt es sich um die koordinierte europäische Antwort auf die steigende Nachfrage für größere Telekommunikations-Nutzlasten, um Missionen mit bis zu 18 kW Nutzlastleistung zu ermöglichen.

Als öffentlich-private Partnerschaft zwischen der ESA und Inmarsat ist es das Ziel der Mission, diese neue Alphabus-Plattform im Flug zu erproben und gleichzeitig als funktionierenden Satelliten unter der Bezeichnung Inmarsat I-XL zu betreiben, um den Breitband-Global-Area Netzwerkdienst von Inmarsat zu vergrößern, was die mobile Kommunikation zwischen Europa, Asien, Afrika und dem mittleren Osten vereinfacht.

Alphasat trägt zudem verschiedene Technologiepakete als Teil des ESA-Programmes ARTES, was frühe Flugmöglichkeiten für die neuen Satcom-Technologien ermöglicht: eine Laser-Kommunikationsverbindung, experimentelle Transponder, eine hochmoderne Sternenkamera und ein Gerät zur Überwachung der Weltraumstrahlung.



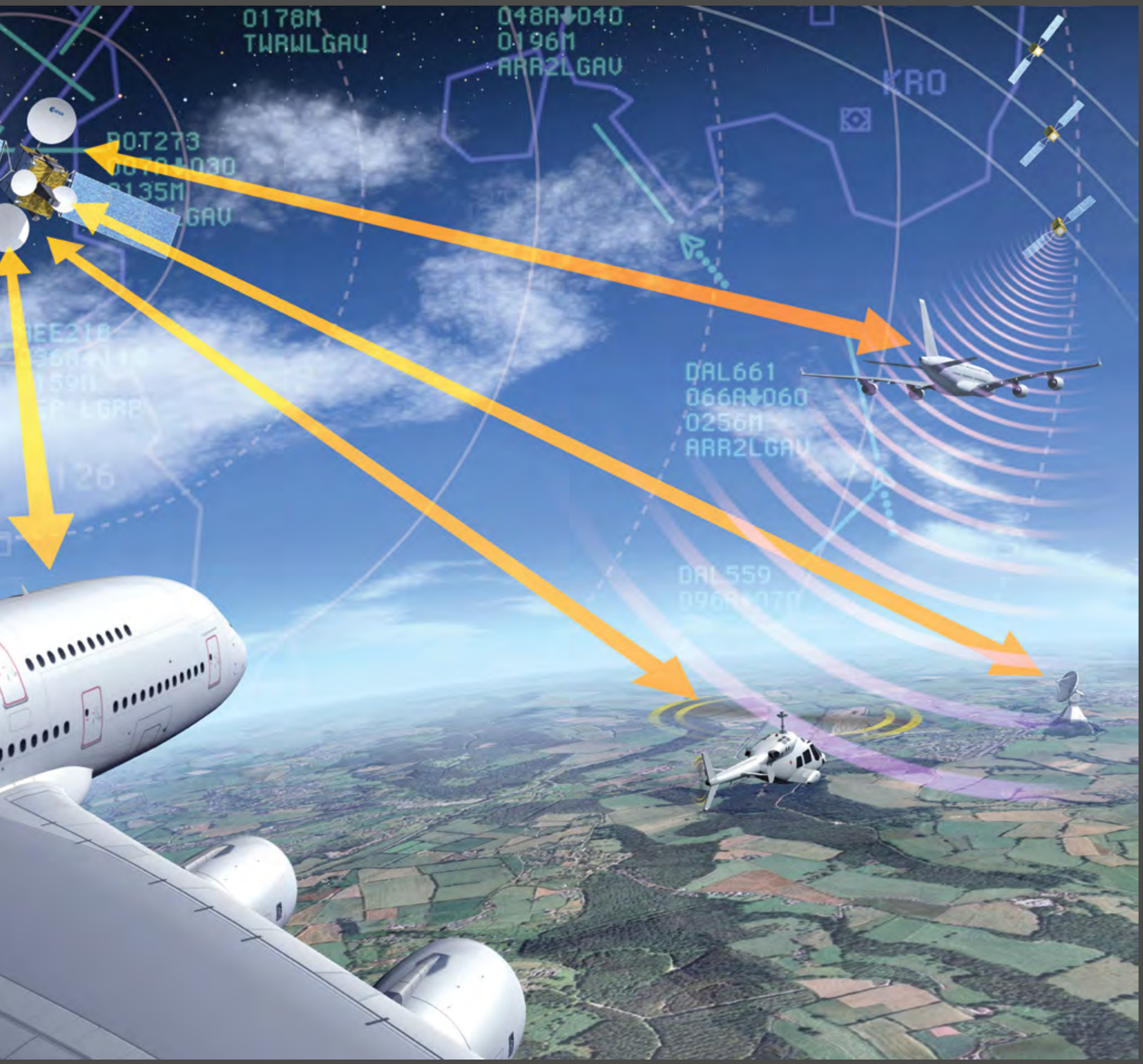


Satelliten für mehr Sicherheit am Himmel

An geschäftigen Tagen werden mehr als 33.000 Flüge im europäischen Luftraum überwacht, wobei diese Zahlen noch zunehmen werden. 2020 wird die Anzahl überwachter Flüge pro Jahr ungefähr 17 Millionen erreicht haben. Gleichzeitig basiert die europäische Flugüberwachung immer noch auf Technologie aus den 1950er-Jahren und ist in über 60 verschiedene Sektoren unterteilt, die alle separat überwacht werden.

Der einheitliche europäische Luftraum SES (Single European Sky) der Europäischen Kommission zielt darauf ab, das europäische Luftverkehrsmanagement zu modernisieren und zu harmonisieren, indem eine technologische Komponente integriert wird: das Single European Sky ATM Research Programme (SESAR). Als Teil von SESAR entwickelt die ESA Iris, ein satellitenbasiertes Kommunikationssystem für die Luftfahrt. Mit Partnern wie Eurocontrol und der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) entsteht IRIS, um digitale Datenverbindungen in die Cockpits zu bringen, und zwar mittels geostationärer Telekommunikationssatelliten im Luftraum über den Kontinenten und Ozeanen.

Satelliten sind seit Jahren für die Passagierkommunikation in Gebrauch, allerdings nicht als Hauptgeräte für die Sicherheit des Luftverkehrs. Iris ist eine von drei neuen Drahtlostechnologien, die mittels SESAR entwickelt werden, um nahtlose Kommunikation während des gesamten Fluges zu erreichen, was den Verkehrsfluss sowie die Routenführung verbessert und die Kosten für die Luftraumüberwachung halbieren könnte.


0178M
TWRWLGAV
048A↓040
0196M
ARR2LGAV
KRO
DAL661
066A↓060
0256M
ARR2LGAV
DAL559

Zur Landung freigegeben

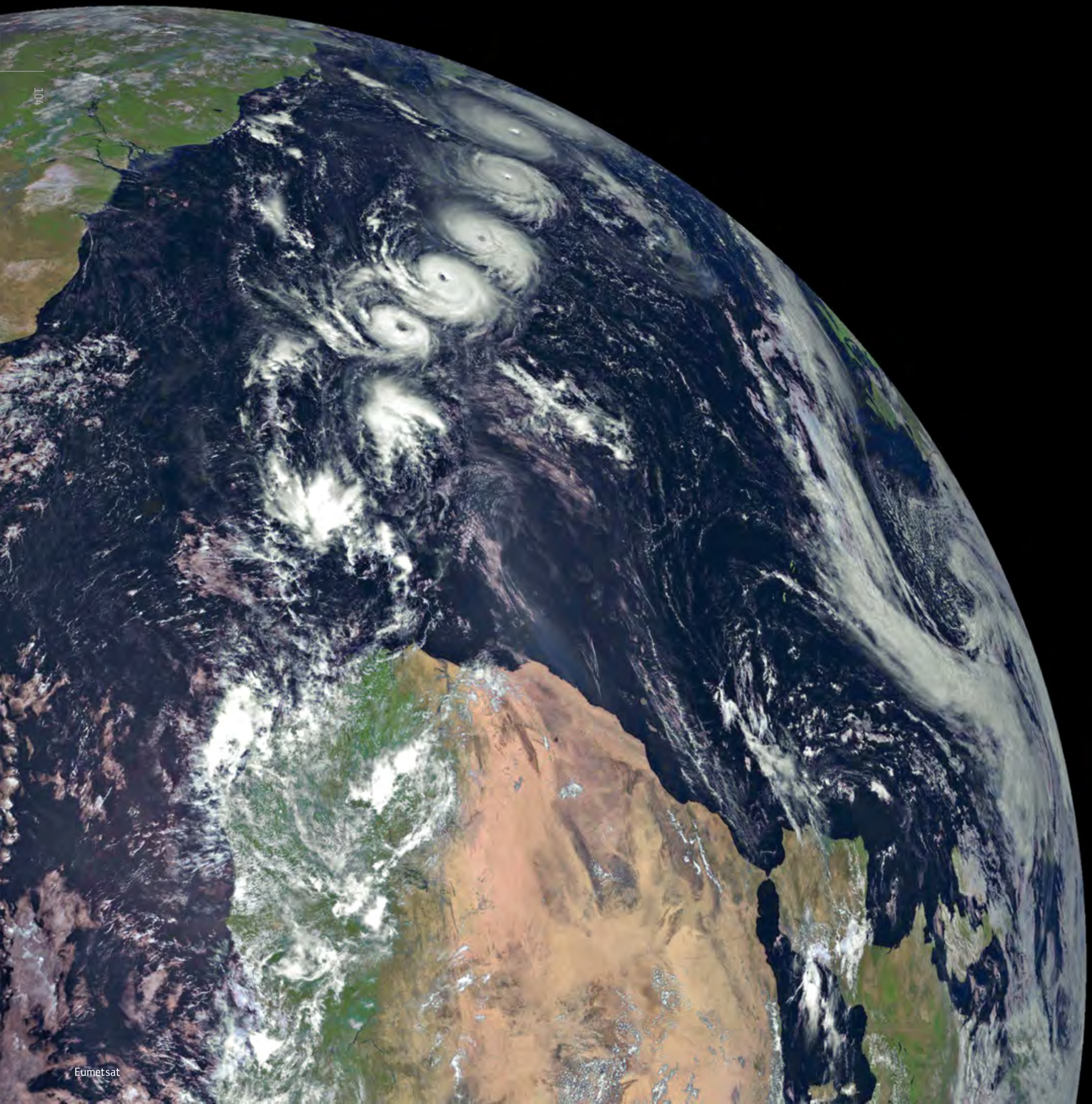
Zum allerersten Mal werden sicherheitsspezifische Verkehrsinformationen aus der Luft und nicht mehr nur vom Boden kommen. Am 2. März 2011 wurde der Safety-of-Life-Sicherheitsdienst, die europäische Erweiterung des geostationären Navigationssystems EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), offiziell für verfügbar erklärt, um Flugzeuge bei der Landung zu leiten. Der nicht sicherheits kritische EGNOS-Betrieb wurde zwei Jahre zuvor aufgenommen, wobei er in tausenden von präzisen Einsatzgebieten zur Anwendung kommt, wie beispielsweise dem Führen blinder Personen in Spanien oder hochgenauem Salzstreuen beim Winterdienst in der Tschechischen Republik.

Um die Zuverlässigkeit der amerikanischen GPS-Signale in Europa zu verbessern, nutzt EGNOS ein Netzwerk von Bodenstationen in Europa (unten rechts), um deren Positionsgenauigkeit zu überwachen und falls nötig einen Korrekturhinweis zu versenden, der mittels dreier geostationärer Satelliten versendet wird. Dieser Dienst garantiert die höchste Zuverlässigkeit, die von der Internationalen Behörde für Zivilluftfahrt festgelegt wurde: Nur eine Fehlermarge von eins zu zehn Millionen ist zulässig und EGNOS-Nutzer werden innerhalb von sechs Sekunden informiert, wenn diese Toleranzgrenze überschritten wird.

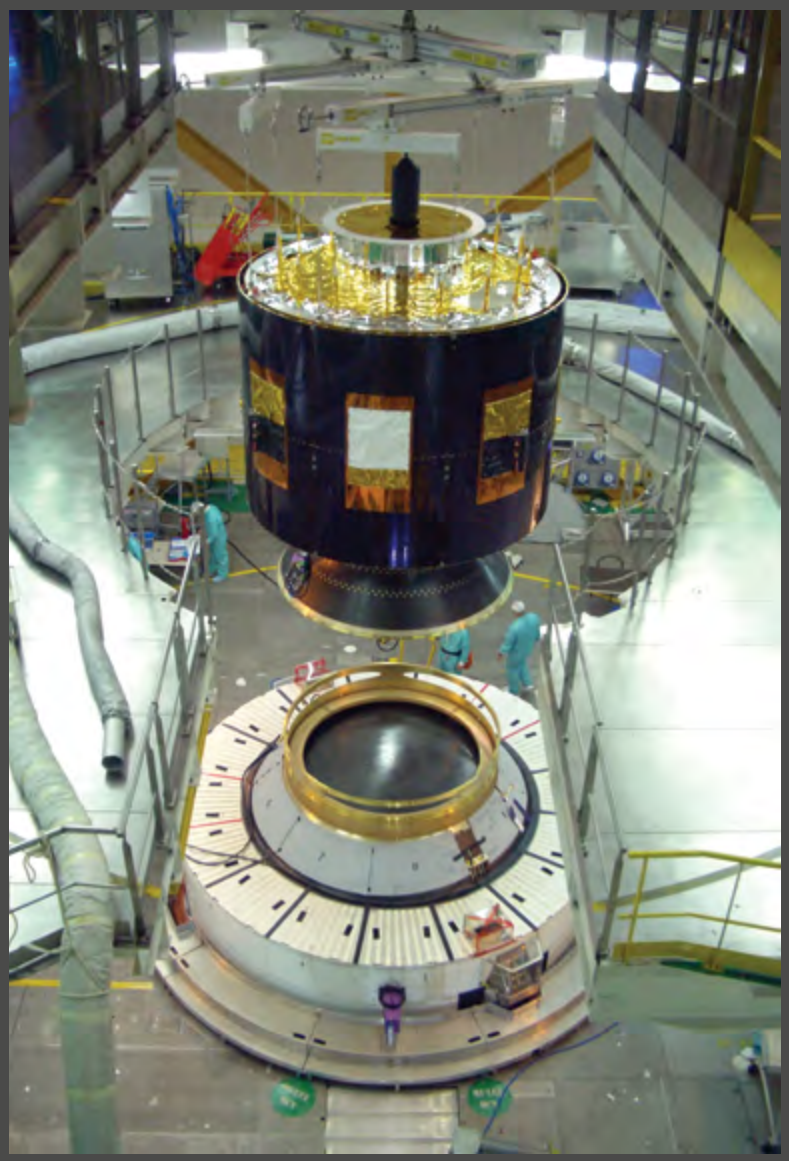
Die ESA hat EGNOS zusammen mit der Europäischen Kommission und Eurocontrol entwickelt. Es wird in Europa schrittweise eingeführt, wobei bei kleineren Flughäfen begonnen wird, die über kein bodengestütztes Instrumentenlandesystem verfügen.

Die Entwicklung von EGNOS wurde mit anderen satellitenbasierten Erweiterungssystemen auf der Welt koordiniert: MSAS in Japan, GAGAN in Indien und WAAS in den USA, wobei Letzteres heute von über 40.000 Flugzeugen genutzt wird.

Zu den geostationären Satelliten, die EGNOS möglich machen, gehört auch der ESA-Satellit Artemis (unten). Dieser altgediente Technologie-Prüfstand wurde 2001 ins All geschossen und hat bereits zur Envisat Erdbeobachtungs-Mission beigetragen und Automated Transfer Vehicle Flüge zur Internationalen Raumstation unterstützt.



Eumetsat



Sturmwarnung

Die Schneise in Richtung Westen des Hurrikans Isabel wurde täglich vom von der ESA gebauten Meteosat-Satelliten von seiner geostationären Position aus überwacht. Die Erdbobachtung durch meteorologische Satelliten hat die Frühwarnzeit für tropische Zyklone und Hurrikane von 24 Stunden 1990 auf heute mehr als 48 Stunden verdoppelt.

Europa hat seit 1977 meteorologische Satelliten in der geostationären Umlaufbahn, die ständige Sicht- und Infrarotbilder liefern, um Wolken, Temperaturen von Wolken, Land- und Wassermassen zu überwachen und die Atmosphärenkonzentration von Ozon, Wasserdampf und Kohlendioxid zu messen.

Eine Stärke der geostationären Umlaufbahn ist die gleichzeitige Ansicht je eines Drittels der Erde. Meteorologen können so Wettersysteme über den Ozeanen verfolgen, während diese noch weit von bewohnten Gebieten entfernt sind. Die normale Position jedes aktiven Satelliten in der langjährigen Meteosat-Serie liegt über dem Äquator und dem Greenwich-Meridian. Dies ermöglicht die permanente Überwachung Europas, Afrikas und des Atlantiks mit Ausnahme nur der nördlichsten und südlichsten Regionen des Globus.

Während die ESA Wettersatelliten entwickelt und beschafft, werden sie von Eumetsat, der europäischen Organisation zum Betrieb von meteorologischen Satelliten, für die nationalen Wetterbehörden Europas betrieben. Die Kooperation der ESA mit Eumetsat hat sich auf sieben Satelliten der ursprünglichen Meteosat-Serie ausgeweitet, hinzu kommt ein Trio von modernisierten Meteosat-Satelliten zweiter Generation – ungefähr drei Mal größer als die Originale, wobei der erste 2002 ins All gebracht wurde – und umfasst auch die kurz bevorstehenden Meteosat-Missionen dritter Generation sowie die pol-umkreisende MetOp-Serie. Ein aktiver Satellit wird immer von einem orbitalen „Hot-Backup“ begleitet, der bei einem Ausfall die Wetterbeobachtung fortsetzen kann.

→ SICHERE UMLAUFBAHN FÜR SATELLITENNAVIGATION

Die Region unterhalb der geostationären Umlaufbahn und über der niedrigen Erdumlaufbahn ist wenig genutzt und meist noch unberührt. In Weltraumbegriffen handelt es sich dabei um eine unfreundliche Gegend, die von den beiden Strahlungsgürteln der Erde beeinflusst ist, wo ungeschützte Satelliten stark dem Beschuss von geladenen Partikeln ausgesetzt sind. Als 2001 der Artemis-Kommunikationssatellit kurz nach dem Start in diesem Orbit „strandete", da auf dem Weg zur geostationären Umlaufbahn eine Störung der Trägerrakete auftrat, war das Hauptziel des Flugkontrollteams, diesen Bereich so schnell wie möglich zu verlassen.

Hauptverkehrsroute mittlere Umlaufbahn

Heute hat sich einiges geändert: in der Mitte auf einer Höhe von 23.222 Kilometern nimmt das europäische System zur Satellitennavigation, Galileo, rasch Form an. Die erste Partnerschaft zwischen ESA und der Europäischen Kommission hat zu dieser Konstellation aus 30 Satelliten geführt, die Positionierung, Navigation und Zeitdienste von hoher Qualität für die gesamte Welt bietet: Als zivil betriebener Dienst, der eine kontinuierliche Abdeckung garantiert.

Ein Navigationssystem in der geostationären Umlaufbahn könnte aufgrund der Krümmung der Erde keine weltweite Abdeckung bieten, da die Polregionen außer Sichtweite bleiben und hohe Gebäude oder Bäume die Satellitensignale auf einem Großteil des europäischen Kontinents verdecken würden. Satelliten auf einer niedrigen Umlaufbahn umkreisen die Erde so nah, dass Dutzende nötig wären, um die Navigationssignale um die Erde zu senden.

Die mittlere Umlaufbahn bietet die beste Alternative dafür. Jedes Satellitensignal kann ein großes Segment des Planeten abdecken und die Satelliten bewegen sich langsam genug, um während Stunden vom Boden aus innerhalb eines bestimmten Teil des Himmels sichtbar zu bleiben. Insgesamt 30 Satelliten, inklusive Reservesatelliten, sind sorgfältig über drei Ebenen von Umlaufbahnen verteilt, wobei sichergestellt wird, dass die für jeweils eine Ortsbestimmung nötigen vier Satelliten stets am Himmel sichtbar sind. Die US-amerikanische GPS-, die russische Glonass- und chinesische Compass-Konstellationen sind ähnlich verteilt.

Zuverlässige Flugbahn

Zudem gibt es einen weiteren Vorteil: Die mittlere Umlaufbahn ist relativ frei von Störungen. Die Position jedes Satelliten in der Umlaufbahn muss möglichst genau bekannt sein, da die Satellitennavigation auf der Berechnung der Entfernung zwischen Satellit und Bodenempfänger basiert. Möglichst wenige Umlaufbahnkorrekturen

sollten während der 12-jährigen Betriebsdauer eines jeden Satelliten nötig sein. Europa musste bisher nie eine so große Satelliten-Konstellation überwachen, aber dies macht die Aufgabe etwas einfacher.

Der Aufbau von Galileo

Als Teil der Vorbereitungen der ESA wurden auf Wegbereitermissionen echte Galileo-Elemente geflogen und Daten gesammelt, um die Strahlung in der mittleren Umlaufbahn zu bestimmen, da die für Galileo gewählte Höhe direkt außerhalb des äußeren Strahlungsgürtels der Erde liegt. Zwei Galileo In-Orbit Validation Element-Satelliten (GIOVE) wurden mit weiteren Funktionen parallel gebaut, um eine Redundanz zu ermöglichen. GIOVE-A startete an Bord einer Sojus-Rakete vom Weltraumbahnhof Baikonur in Kasachstan am 28. Dezember 2005 und GIOVE-B am 27. April 2008. Beide Satelliten waren bis 2012 in Betrieb, etwas länger als geplant, dank eines milderen Sonnenfleckenzyklus. Dennoch konnte gezeigt werden, dass der Strahlungsschutz und andere Maßnahmen effizient funktionieren, und Galileo-Komponenten wie Rubidium und passive Wasserstoff-Atomuhren in der Umlaufbahn gut funktionierten.

Gleichzeitig entwarf und baute die ESA ein weltumspannendes Bodensystem, um die Satelliten und ihre Navigations-Nutzlast zu kontrollieren und die Genauigkeit der Navigationsdienste von Galileo konstant zu halten, was zu einer der bislang komplexesten Aufgaben der Agentur gehörte.

Inbetriebnahme

Das System sollte 2014 den anfänglichen Betrieb aufnehmen, wobei 2018 die gesamte Konstellation bereit stehen wird. Die Europäische Kommission, Partner der ESA, errechnet, dass Galileo – bei Kosten vergleichbar dem Bau von 150 km europäischer Autobahn – ungefähr 90 Milliarden Euro in den ersten 20 Betriebsjahren einnehmen könnte und 150.000 Arbeitsplätze schafft. Mit dem Bau von Galileo sichert sich Europa die Unabhängigkeit in einem technologisch und wirtschaftlich bedeutenden Bereich. Schon heute wird geschätzt, dass die Satellitennavigation für 7 % des BSP Europas sorgt, wobei diese Prozentzahl in den nächsten Jahren noch weiter ansteigen wird.

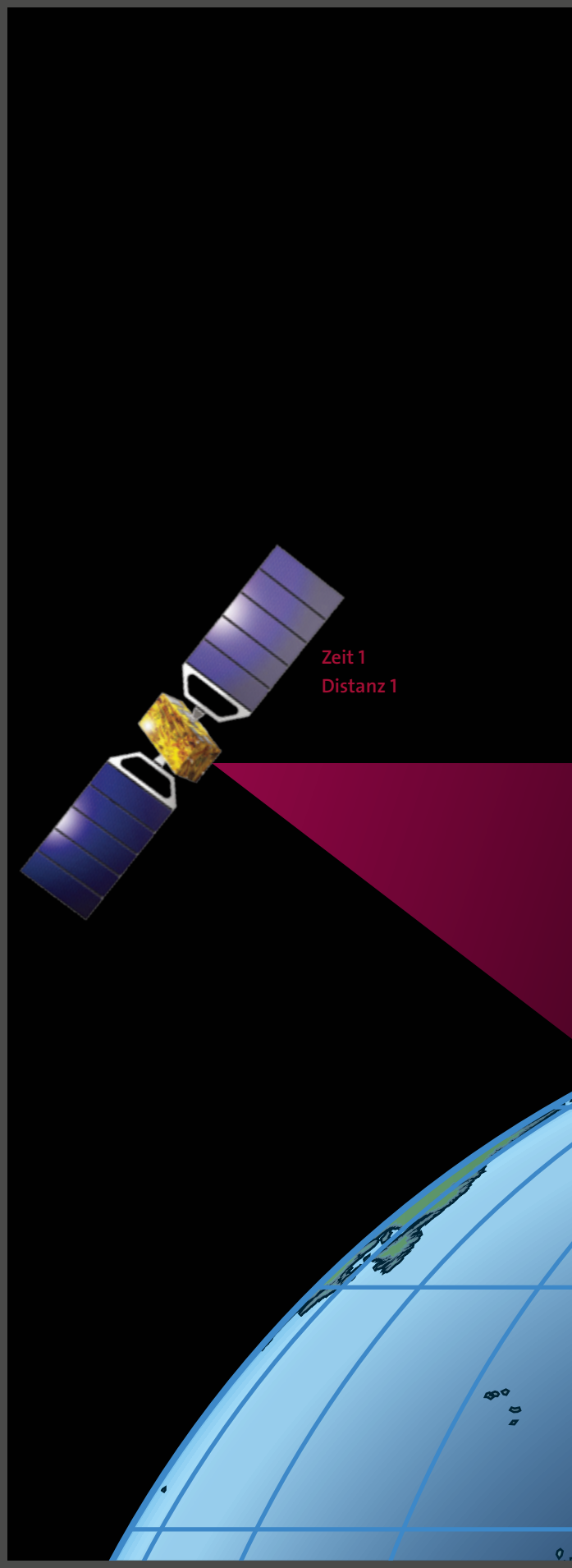
Von oben geleitet

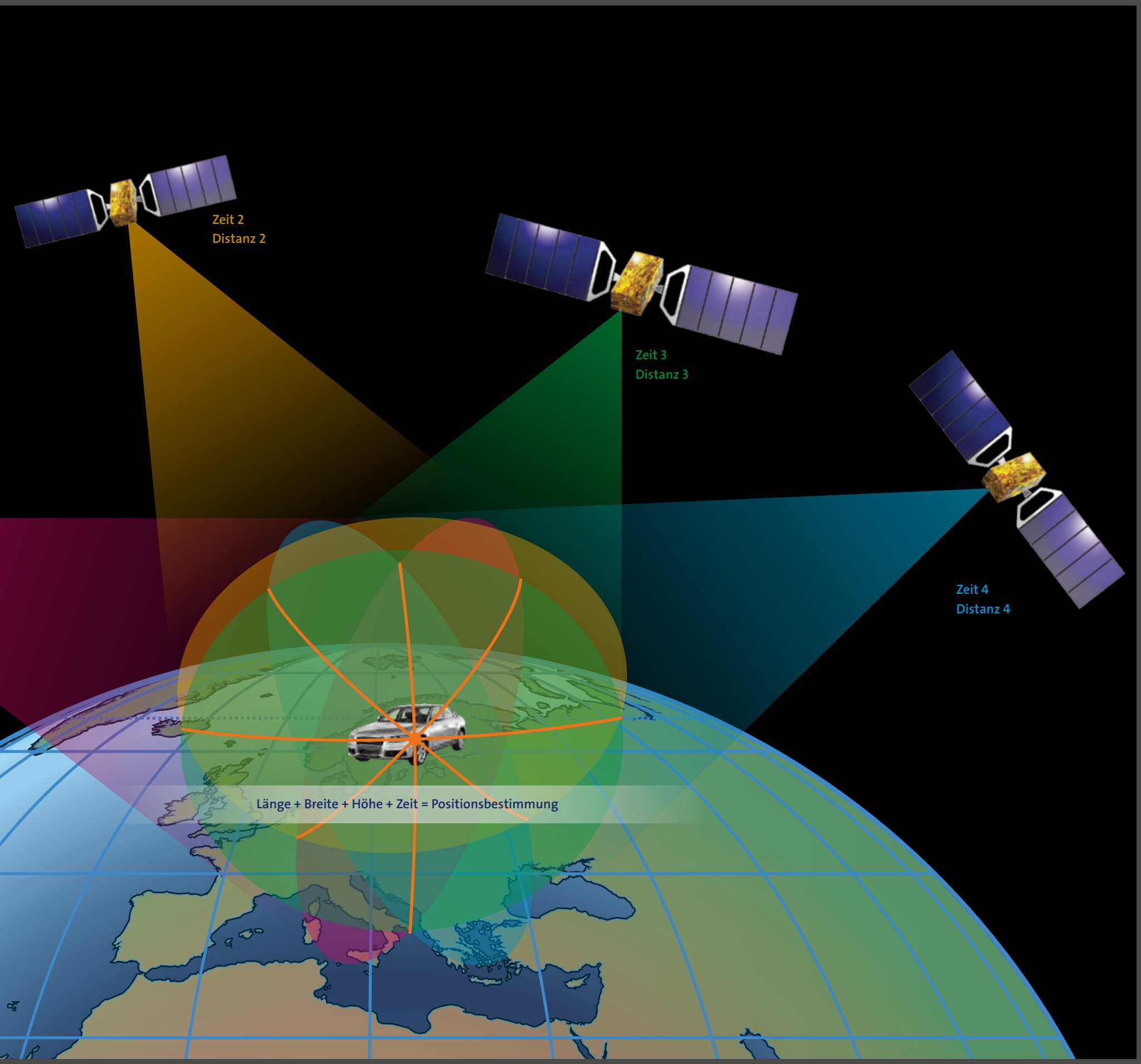
Wo sind Sie gerade? Galileo kann diese Frage genauer als jemals zuvor beantworten. Die Satellitennavigation basiert auf der Entfernungsmessung: Man misst, wie lange ein Satellitensignal benötigt, um Sie zu erreichen, um dann mit Hilfe der Lichtgeschwindigkeit die Distanz zwischen dem Satelliten und Ihrem Empfänger zu berechnen. Drei Satelliten geben Länge, Breite und Höhe an, wobei ein Vierter die Zeitgenauigkeit sicherstellt.

Diese müssen auf eine milliardstel Sekunde genau sein, was 30 cm Entfernungsgenauigkeit entspricht. Eine tausendstel Sekunde entspricht 300 Metern Ungenauigkeit, während ein Fehler von einer Sekunde Sie außerhalb der Mondumlaufbahn orten würde.

Damit das System auf der ganzen Welt korrekte Resultate bietet, sind 30 Satelliten mit hochpräzisen Atomuhren nötig. Drei Bahnebenen wurden sorgfältig ausgewählt, um die globale Abdeckung zu optimieren. Jeder Galileo-Satellit trägt zwei passive Wasserstoff-Maser-Atomuhren, die in drei Millionen Jahren eine Genauigkeit von einer Sekunde aufweisen, sowie ein Ersatzpaar mit Rubidium-Atomuhren, die in einer Million Jahren eine Genauigkeit von drei Sekunden zeigen.

Diese extreme Genauigkeit, zusammen mit einem weltweiten Bodensystem, das mögliche Fehler korrigieren kann, bietet Galileo mehr Präzision im Vergleich zu den GPS-Satelliten der aktuellen Generation und mehr Anwendungsmöglichkeiten, wie beispielsweise die Berechnung von Straßengebühren und die Routenführung von Zügen.




Zeit 2
Distanz 2
Zeit 3
Distanz 3
Zeit 4
Distanz 4
Länge + Breite + Höhe + Zeit = Positionsbestimmung

Galileos Grundlagen

Zwei Galileosatelliten, gehalten vom Dispenser, der sie auf 23.222 Kilometern Höhe in die Umlaufbahn entlässt, hier bereit zum Start am 21. Oktober 2011.

Diese ersten beiden von vier Anfangssatelliten spielen eine doppelte Rolle: Sie bestätigen, dass die Satelliten und die Bodensegmente den vielen Anforderungen von Galileo gewachsen sind und sie bestätigen das Design des Systems. Zudem sind sie fester Bestandteil der bald 30-teiligen Konstellation.

Die Satelliten-Plattform ist mit einer Hauptanforderung entwickelt worden: Da Galileo viele Anwendungen unterstützt, müssen die Satelliten äußerst zuverlässig sein und mit wenig Unterbrechungen funktionieren. Wenn Standardsatelliten Probleme haben, kann in den abgesicherten Modus gewechselt werden, um die Diagnose abzuwarten, aber diese Satelliten dürfen während ihrer 12-jährigen Betriebszeit insgesamt höchstens fünf Tage ausfallen. Deshalb sind sie in hohem Maße neu konfigurierbar. Module, die zur Erhaltung der Funktionalität dienen, sind über Kreuz verschaltet und können somit ausgetauscht werden. Jeder Satellit überträgt ungefähr 20.000 Datenelemente zu seinem Status zurück zur Erde, um den Kontrollteams eine detaillierte Übersicht über seine „Gesundheit“ zu bieten.

Europas neues Zeitalter der Navigation

Eine in doppelter Hinsicht historische Chance: Die ersten zwei Galileo-Navigationssatelliten Europas wurden am 21. Oktober 2011 auf der ersten Sojus vom neuen Startplatz, dem europäischen Weltraumbahnhof in Französisch-Guayana, gestartet, und läuteten das Galileo-Zeitalter ein.

Eine leistungsfähigere Sojus-Variante mit einer Oberstufe mit zusätzlichem Treibstoff brachte die Satelliten auf 23.222 Kilometer. Sie erreichten ihre Endposition 229 Minuten nach dem Start, wo sie der Dispenser seitlich von der Fregat-Oberstufe absetzte, die dann weiter in eine „Friedhofs-Umlaufbahn" flog. Die Mitarbeiter der Missionskontrolle in Toulouse, Frankreich, erhielten sofort Signale der beiden Satelliten.

Dieser Prozess wird sich in den nächsten Jahren noch einige Male wiederholen. Um den Einsatz zu beschleunigen ist eine Version der Ariane 5 in Vorbereitung, die vier Satelliten gleichzeitig transportierten kann und neben der Sojus verwendet werden soll. Eine 18-teilige Galileo-Konstellation wird ab Mitte des Jahrzehnts einen anfänglichen Betrieb möglich machen, wobei die vollständige Konstellation 2018 betriebsbereit sein soll.

Gesundheitscheck in der Umlaufbahn

Das ESA Zentrum in Redu in den belgischen Ardennen spielt eine wichtige Rolle bei der Überprüfung der Galileo-Satelliten, ob diese nach dem Start gesund und fit sind.

Sofort nachdem die Satelliten ihre Umlaufbahn erreichen, werden sie vom Team langsam eingeschaltet, entweder von Toulouse oder dem ESOC in Darmstadt aus. Dann beginnt die komplexe Aufgabe, die Navigations-Nutzlast in Betrieb zu nehmen.

Die Kontrolle der Satelliten wird vom Galileo-Kontrollzentrum Oberpfaffenhofen in Deutschland übernommen, während die Nutzlastevaluierung in Redu stattfindet.

Redu, das 1968 eröffnet wurde, wurde für diese Aufgabe ausgewählt, da es eine lange Tradition für ähnliche Aufgaben bei europäischen Telekommunikationssatelliten hat.

Für Galileo ist das Redu-Zentrum mit einer Antenne von 20 Metern Durchmesser ausgerüstet worden, die die Navigationssignale auffängt, und zwar mit der für die Diagnose nötigen Präzision, wobei die genaue Form der übertragenen Signale aufgefangen werden kann. Zudem wurde eine Übertragungsantenne zum Test des Satelliten-Empfangsmoduls und zum Hochladen von Navigationsmeldungen aufgebaut. Eine UHF-Antenne übermittelt simulierte Such- und Bergungssignale, die an regionale Stellen über die Internationalen Cospas-Sarsat-Satelliten für Such- und Rettungssysteme weitergeleitet werden.

Redu überprüft den Zustand aller zukünftigen Galileo-Satelliten nach deren Start, wobei ebenfalls ähnliche Aufgaben für die ESA-Telekommunikationssatelliten übernommen werden. Die Artemis- und Proba-Missionen der ESA werden ebenfalls von hier aus betrieben. Zudem wird Redu eines der beiden Missions-Betriebszentren für die Satelliten des Europäischen Datenrelaissystems beherbergen.

esa
esa
esa
esa

Galileo auf dem Boden

Journalisten während der Pariser Luftfahrtschau 2011 beobachten die ESA und die Europäische Kommission beim Unterschreiben der Industrieverträge für das Galileo-Bodenkontrollsegment und das Bodenkontrollsegment und dem Bodenmissionssegment.

Die Satelliten im Weltall sind nur die Spitze des globalen Galileo-Eisbergs. Als eine der kompliziertesten Entwicklungen, die je von Europa begonnen wurden, ist ein globales Bodennetzwerk notwendig für die Überwachung der Satelliten und die Gewährleistung der Zuverlässigkeit von Zeit- und Positionsinformationen in den Navigationssignalen aus dem Weltraum.

Galileos Bodenkontrollsegment überwacht und kontrolliert die Satellitenplattformen. Dies geschieht während der Anfangsphase vom Galileo Kontrollzentrum Oberpfaffenhofen bei München in Deutschland aus, mit Verbindungen zu Telemetrie-, Tracking- und Telekommandostationen in Kiruna, Schweden, und Kourou, Französisch-Guayana.

Das Missions-Kontrollsegment stellt die modernste Navigationsleistung von Galileo sicher, indem jeder Satellit stetig überprüft wird und bei einer Zeitverschiebung eine Korrekturmeldung an den Satelliten verschickt, die spätestens alle 100 Minuten an die Nutzer weitergeleitet wird.

Während der Anfangsphase befindet sich das Bodenmissionssegment im anderen Zentrum in Fucino, Mittelitalien, aber bald werden in Oberpfaffenhofen und Fucino gleiche Anlagen stehen, die dann zusammenarbeiten, um so als bereitstehende Backups zu dienen: mit Datensynchronisierung in Echtzeit für eine verbesserte Robustheit des gesamten Galileo-Systems.

Einsamer Außenposten

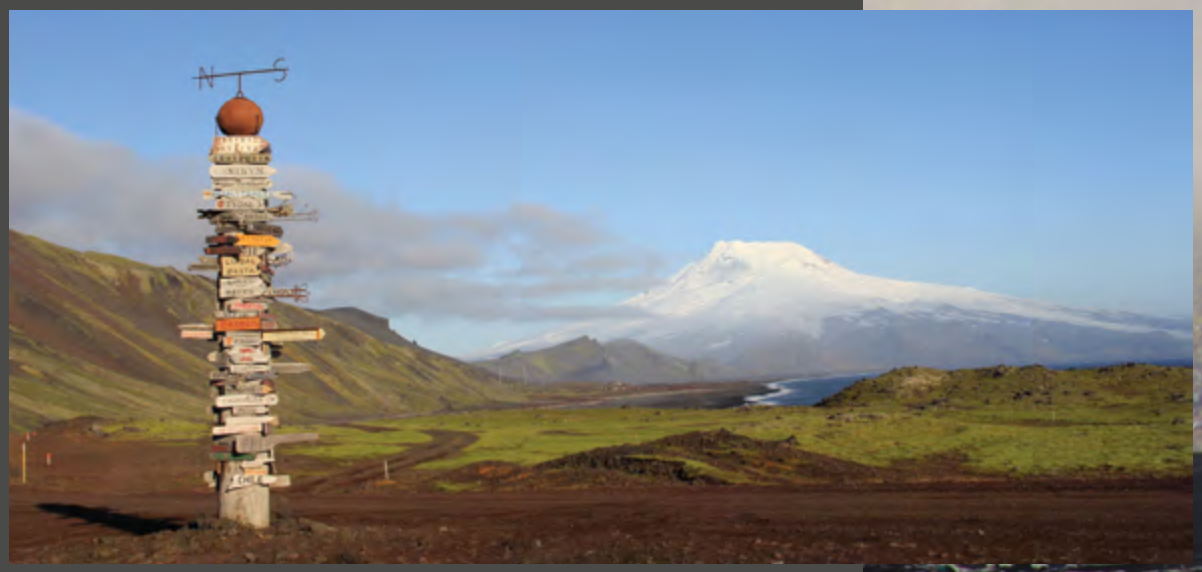
Galileo bietet weltweite Navigationsdienstleistungen, was wiederum ein globales Netzwerk von Bodenstationen erfordert, und zwar auch an abgelegenen Orten der Erde. Die hier abgebildete Insel Jan Mayen ist eine Vulkaninsel in der norwegischen Arktis, auf der ein für die Erde unheimlich unwirtliches Klima herrscht. Dennoch steht hier eine Galileo-Sensorstation.

Die Satellitennavigation baut darauf auf, dass der Empfänger die Zeit und den Standort im Weltraum zur Versandzeit mit einer extremen Genauigkeit berechnet. Aber die Atomuhren an Bord der Satelliten könnten mit der Zeit dennoch etwas ungenau werden und die Satelliten könnten leicht von ihrer Umlaufbahn abweichen.

Das globale Netzwerk der Sensorstationen gleicht die Zeit jedes Satelliten mit der Galileo-Systemzeit ab, die von präzisesten Zeitanlagen in den Galileo-Kontrollzentren in Fucino und Oberpfaffenhofen festgesetzt wird und auf 28 milliardstel Sekunden genau ist.

Auch die Umlaufbahnen der Satelliten weichen ab, da die Gravitation der Erde am Äquator etwas höher ist und die Sonne und der Mond ebenfalls Einfluss haben. Sogar der leichte aber stete Druck des Sonnenlichts kann die Umlaufbahn beeinflussen. Deshalb führen die Bodenstationen auf der ganzen Welt, die Galileo-Signale auffangen, eine umgekehrte Funkortung der Übertragungssatelliten durch, um deren exakte Position zu bestimmen und deren Abweichung von der Umlaufbahn zu berechnen. Zudem wird ebenfalls die Signalstärke überwacht und die Daten via Satellitenverbindung zurück zur Galileo-Bodenüberwachungsstation gesandt.

Die Sensorstation und die Satellitenverbindung auf Jan Mayen wurden auf dem einzigen flachen Gelände auf der ganzen Insel gebaut, einem Strand aus schwarzem, vulkanischem Sand mit uraltem, gebleichtem Treibholz, das die baumlose Insel vom russischen Festland erreicht hat.



Am unteren Ende der Welt

Die südlichste Galileo-Station ist die Troll-Basis in der Antarktis. Diese norwegische Anlage liegt ungefähr 235 Kilometer landeinwärts in der dünnen Luft auf 1270 Metern über Meer.

Auf solidem Boden auf einem Berggipfel, der die umliegenden Gletscher überragt, stehen eine Galileo Sensor- und Uplink-Station. Letztere wird verwendet, um Navigations-Korrekturmeldungen vom Galileo-Bodenmissionssegment an die Satelliten zu schicken.

Da die Galileo-Konstellation so hoch fliegt, liegt Troll in der Antarktis günstig, da sie so die Satelliten über dem Atlantik, Pazifik und Indischen Ozean gleichzeitig erreichen kann. Das nördliche Pendant zu Troll ist Svalbard in der norwegischen Arktis und bietet eine ähnlich gute Abdeckung für die nördlichen Breiten mit weiteren Uplink-Stationen auf der ganzen Welt, um die Uplink-Leistung von Galileo zu optimieren: Navigationskorrekturnachrichten sind der Schlüssel dazu, dass jeder Galileo-Satellit stets auf die Galileo-Systemzeit abgestimmt bleibt.

Die Troll-Basis ist schon jetzt Heimat der Satelliten-Bodenstation TrollSat. Die Basis ist rund um das Jahr besetzt, wobei die Nachschublieferungen über die nahegelegene Gletscherlandebahn oder im arktischen Sommer, während dem die Sonne nie untergeht, mit Überlandkonvois kommen.

→ AUF UNSEREN HEIMATPLANETEN AUFPASSEN

Je näher man der Erde kommt, umso mehr kommt die unglaublich abwechslungsreiche Oberfläche ins Blickfeld. Unterhalb eines zerbrechlichen Teils von Atmosphäre ist dies der Ort, an dem wir alle leben. Deshalb verdient er Aufmerksamkeit und Schutz. Von diesem günstigen Standpunkt aus können wir das komplexe System der Erde besser verstehen und mehr über deren Ursprung und Zukunft erfahren.

Die niedrige Umlaufbahn ist der Wirkungsbereich der Erdbeobachtungssatelliten, aber die schärfere Sicht hat ihren Preis. Wenn die Satellitenauflösung erhöht wird, nimmt das Sichtfeld ab und je näher ein Satellit die Erde umkreist, desto schneller muss er fliegen, um der stärker werdenden Gravitation zu entkommen – pro Sekunde 7 km und mehr im Fall von Envisat der ESA und vergleichbaren Erdbeobachtungsmissionen. Die Beobachtungssatelliten, die normalerweise in polaren Nord-Süd-Umlaufbahnen platziert werden, können einen Großteil des Planeten abdecken, während dieser sich unter ihnen dreht, aber sie können den gleichen Punkt auf der Erde nur nach Wochen oder Monaten erneut besuchen.

Eine derart niedrige Wiederholrate war für frühe Beobachtungsmissionen angemessen, wie die US-Landsat-Serie, deren Daten die ESA für europäische Wissenschaftler ab Mitte der 1980er-Jahre zu sammeln und zu archivieren begann, oder die ERS-Radarmissionen der ESA, die in den 1990er-Jahren folgten. Aber die bedeutenste Erkenntnis solcher Pioniermissionen ist, dass sich die Welt stets verändert. Satellitenbilder sind wie traditionelle Papierkarten schon direkt nach der Aufnahme nicht mehr aktuell.

Was die Erdbeobachtungssatelliten zu solch leistungsfähigen Informationsträgern macht, ist ihre Kapazität für regelmäßig wiederholte Besuche. Ein von Turbulenzen geschütteltes Kartierungsflugzeug kann selten die genaue Flugbahn wiederholen, aber ein Satellit in der Umlaufbahn kann dies immer wieder mühelos schaffen. Fortlaufende Bilder und Daten eines bestimmten Ortes können auf einer präzisen Grundlage verglichen werden.

Diese Fähigkeit fügt eine einst unerreichbare Zeitdimension zur Fernerkundung hinzu: Unterschiede zwischen Bildern werden genauso aufschlussreich wie die Bilder selbst, da sie die komplexen, dynamischen Eigenschaften des Erdsystems und der zunehmend störenden Rolle der Menschen darin genau festhalten. Städte wachsen unglaublich schnell, die Umweltverschmutzung wird immer schlimmer, Autobahnen durchtrennen natürliche Lebensräume, Seen trocknen aus und Wälder werden abgeholzt. Die Wirkung der menschlichen und natürlichen Katastrophen sind klar sichtbar.

Einzelne Satellitenmissionen zeigen saisonale Ansichten, dank ihrer „leaf on / leaf off“ -Kapazität (mit und ohne Blattbewuchs), wobei keine Garantie für die Verfügbarkeit besteht. Die Überwachung ganzer Regionen mit der begrenzten Reichweite eines einzigen Satelliten ist wie das Navigieren in einem Raum, wenn man durch einen Strohhalm blickt. Die Gemeinschaft der Erdbeobachtungsnutzer benötigt mehr, insbesondere wenn zu den Wissenschaftlern die nationalen und lokalen Regierungen, internationalen Umwelt- und Entwicklungsbehörden, Spezialisten für Lebensmittelsicherheit und Präzisionslandwirtschaft sowie Katastrophenschutzorganisationen stoßen, um nur ein paar zu nennen.

ESAs Pioniersatellit Envisat trug dazu bei, viele dieser Dienstleistungen auf experimenteller Basis auszutesten, und die dadurch gewonnenen Aufzeichnungen haben die weltweite Veränderung unterstrichen und die Notwendigkeit steter Umweltüberwachung für die Entscheidungsträger und öffentlichen Dienstleister sowie Wissenschaftler untermauert. Kein einzelner Satellit kann diesen Bedarf abdecken. Dazu ist ein System nötig, das alle verfügbaren Satelliten und andere Datenquellen zu einem einzigen, kohärenten Bild verschmelzen lässt.

Dies ist die Vision hinter Copernicus, einer Initiative der ESA und der europäischen Kommission. Jetzt wo wir erkannt haben, wie schnell die weltweiten Veränderungen vor sich gehen, ist Copernicus ein Mittel,

das dazu beiträgt, diese zu managen und ihre Effekte einzudämmen. Durch die Kombination aller verfügbaren boden- und weltraumbasierten Informationen in ein kohärentes Ganzes, wird Copernicus genaue, zeitlich passende und leicht zugängliche Daten erstellen, um das Umweltmanagement zu verbessern, die Auswirkungen des Klimawandels zu beschränken und die zivile Sicherheit zu verbessern.

Die neue Generation der ESA-Sentinel-Satelliten funktioniert als Raumfahrtkomponente für Copernicus, mit zwei Satelliten pro Mission auf den gegenüberliegenden Seiten der Erde, um so die Abdeckung und Besuchsfrequenz zu optimieren. Zudem muss das Multimissions-Bodensegment Daten von allen verfügbaren Quellen abfragen – wie dies bisher schon geschieht.

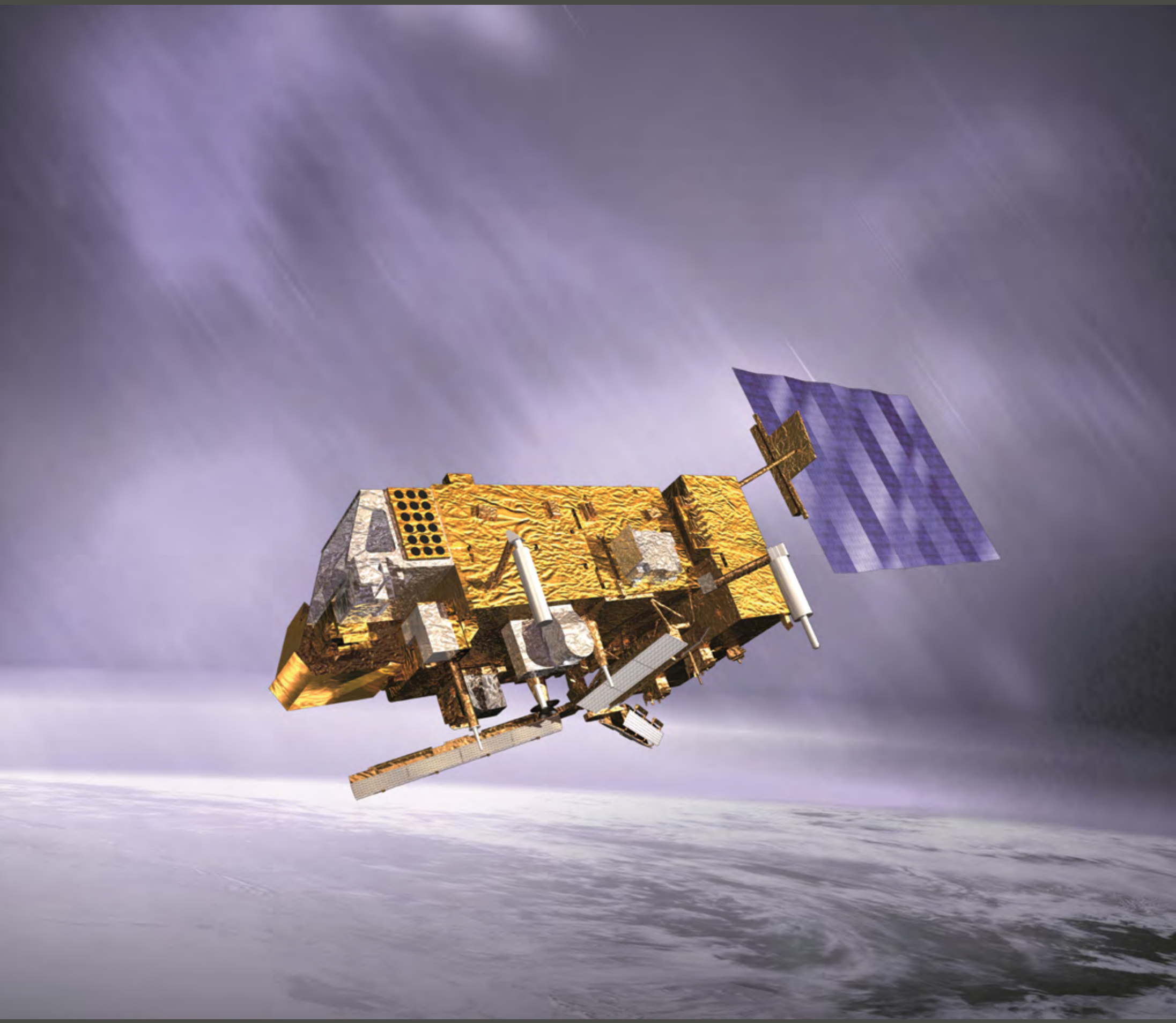
Die Copernicus-Dienstleistungen helfen dabei, die zivile Sicherheit zu erhöhen und wirtschaftliche Vorteile für Europas Bürger und weltweit zu erzielen. Dieser Entwicklungssprung von den wissenschaftlichen Beobachtungen der Envisat-Ära zu den operationellen Anforderungen von Copernicus ist eine Herausforderung, aber die ESA hat etwas Ähnliches schon einmal gemacht: Als die Meteosat-Satelliten von Testgeräten zu operationellen Einheiten entwickelt wurden, die die europäische Wettervorhersage bis heute möglich machen.

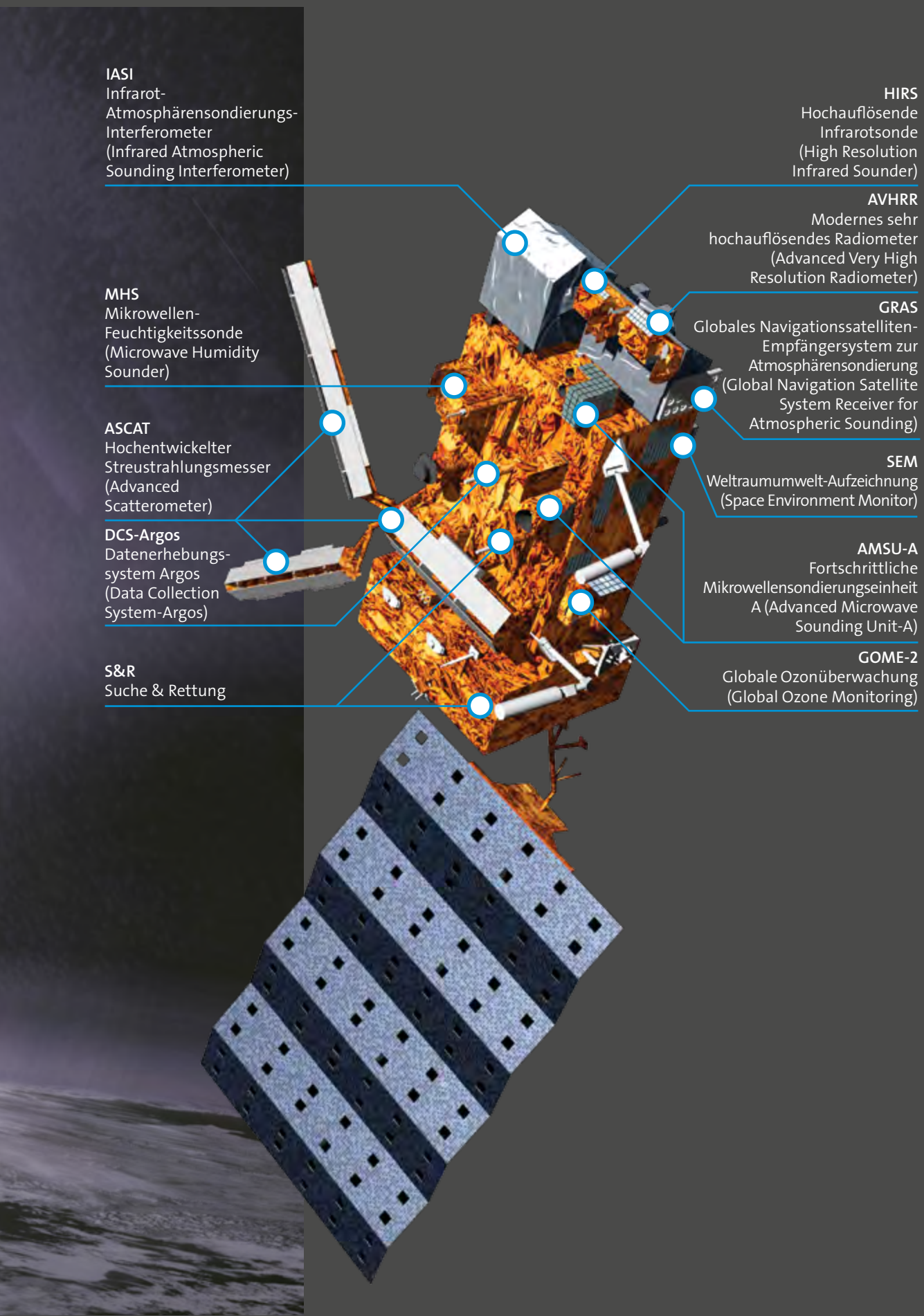
Der entscheidende Punkt dieser Sentinel-Daten ist, dass jeder Zugang dazu hat. Zwischen öffentlicher, wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Verwendung wird kein Unterschied bestehen. Die Verfügbarkeit sollte die Entwicklung von Geo-Informationsdiensten mit Mehrwert beschleunigen. Die Beobachtung der Erde vom Weltraum aus, eröffnet eine neue Dimension für Wissen und Informationsdienstleistungen, die in keiner anderen Weise möglich ist. Dies definiert wiederum neue Märkte und Branchen, schafft Wohlstand und Beschäftigung für die europäische Wirtschaft.

Die Kartierung der Landnutzung und Umweltüberwachung sind wichtige Anwendungen für aktuelle Erdbeobachtungs-Informationsdienstleistungen mit Mehrwert. Seit 2009 hat die ESA mit diesem Programm mit Wertschöpfung Innovations- und Wachstumsmöglichkeiten für die europäische Weltraumindustrie in diesem Bereich untersucht.

Pilotanwendungen umfassen das Aufzeichnen von Wäldern, das Planen von erneuerbarer Energieinfrastruktur, das Verfolgen von Schiffen für Verteidigungs- und Sicherheitszwecke, Kohlenstoffausscheidung und -speicherung, Risikoabschätzung für die Wiederversicherungsbranche und Geomarketing. In Zukunft zielen diese neuen Märkte darauf ab, weiter zu wachsen, angetrieben von den Trends zu grünerer Wirtschaft und dem Bedürfnis zur Einschränkung von Umweltschäden und der Anpassung an den Klimawandel.

Neue Beobachtungsmethoden entstehen aus der Grundlagenforschung und bestätigen diesen Prozess für Wachstum bei Dienstleistungs- und Marktentwicklung. Dies ist ein Prozess, der durch die ESA-Serie wissenschaftlicher Erdbeobachungssatelliten mit technologischer Innovation unterstützt wird, um neue Arten zur Beobachtung unseres Planeten zu ermöglichen. Jede Mission beschränkt sich auf ein bestimmtes Segment des Erdsystems, um unser Verständnis der Prozesse zu verbessern, die den Klimawandel antreiben. Jeder neuen Earth Explorer-Mission könnten möglicherweise Betriebsmissionen in der Zukunft folgen, sobald die Forschungsgemeinschaft über ihren langfristigen Nutzen entschieden hat. Im Moment füllen sie erhebliche Lücken im Verständnis unserer sich verändernden Welt. Ohne diese gemeinsame Anstrengung würden unsere Nachkommen wohl auf einer ganz anderen Welt leben müssen.



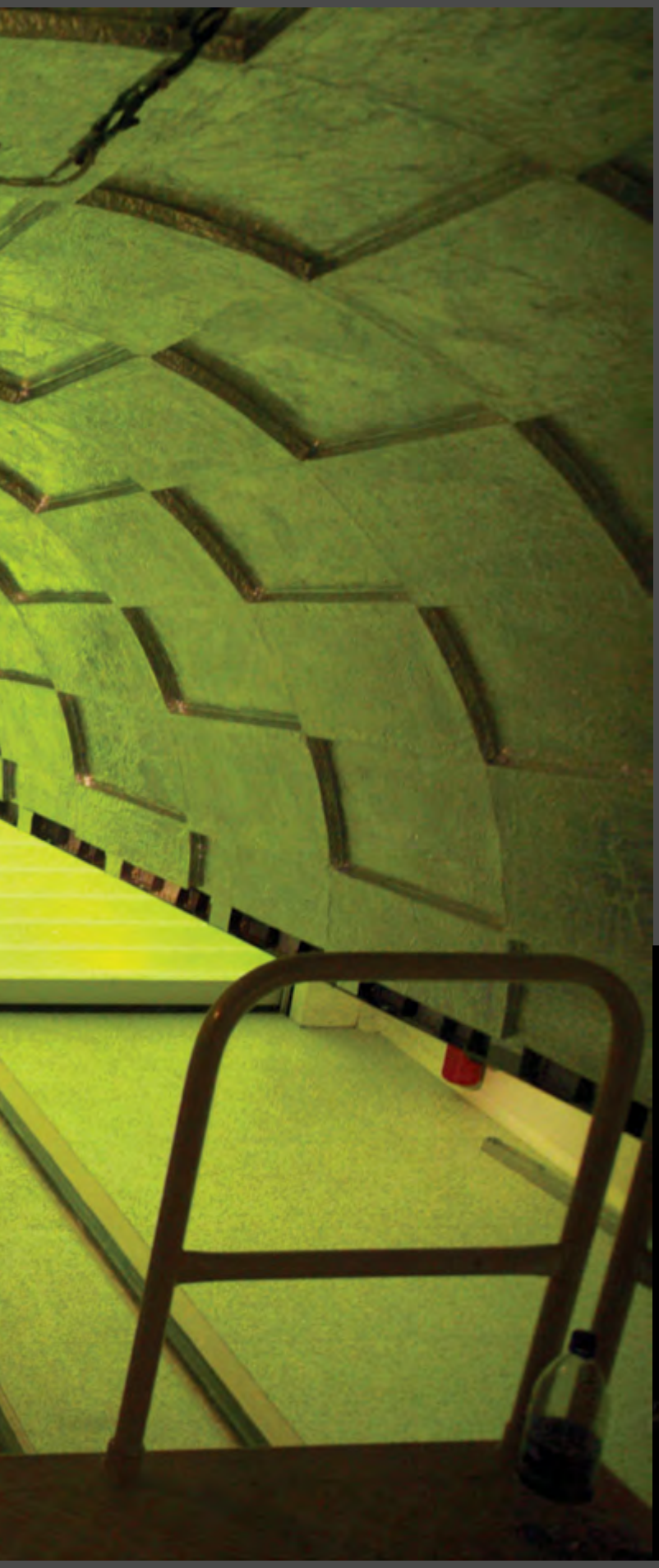


Polare Position

Von der ESA entwickelt und von Eumetsat betrieben weist die MetOp-Serie einen Hauptunterschied zu früheren europäischen Wettersatelliten auf: Sie fliegen 40 Mal näher an der Erde auf einer polaren Umlaufbahn in 800 km Höhe. Geostationäre Umlaufbahnen bieten eine ununterbrochene Weitwinkelansicht über einen Drittel unserer Erde, aber die Pole sind nicht sichtbar und um etwas aus der Nähe zu sehen, muss man sich annähern.

Das Meterologische Operationelle Satellitenprogramm MetOp ist der europäische Beitrag zu einem gemeinsamen Projekt mit der US-National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), die seit mehr als 45 Jahren meteorologische Daten aus der Polumlaufbahn kostenlos an Nutzer auf der ganzen Welt liefert. MetOp-A, der erste Satellit der Serie, hat einen von zwei alten Satellitendiensten ersetzt, die zuvor von der NOAA betrieben wurden. Die Verantwortung für diese Dienstleistung ist jetzt zwischen den USA und Europa aufgeteilt.

MetOp-A wurde dazu entwickelt, zusammen mit dem NOAA-Satellitensystem zu arbeiten, wobei zwei Satelliten auf zwei komplementären Umlaufbahnen fliegen. Die Polumlaufbahn von MetOp-A ist mit der Sonne synchron, was bedeutet, dass die Flugbahn des Satelliten stets die gleiche Lokalzeit hat, hier Mitte Vormittag. NOAA betreibt weiterhin den Satelliten auf der Umlaufbahn Mitte Nachmittag. Im September 2012 kam MetOp-B zu MetOp-A auf der Polumlaufbahn hinzu, um so die Wetterberichtsdienstleistungen aufrechtzuerhalten, falls der erste Satellit eine Störung haben sollte.



MetOp im Aufwind

Techniker beim Reinigen des Innern der Sojus-ST-Nutzlastverkleidung, in der 2012 Europas zweiter MetOp-Satellit vom Kosmodrom in Baikonur, Kasachstan, starten wird. Der Satellit ist unten während dem Start im September abgebildet.

Die 4,1-Meter breite Nutzlastverkleidung der Sojus-ST ermöglichte es, den Satelliten und die vierte Fregat-Stufe unterzubringen, die den Satelliten in seine Umlaufbahn brachte. Er folgte dem ersten Satelliten der Serie, MetOp-A, der am 19. Oktober 2006 startete. Nachdem der Satellit vollständig in Betrieb genommen wurde, begann er ab dem folgenden Mai, Daten an Meteorologen und Klimatologen zu liefern.

An Bord von MetOp befinden sich Instrumente der vorherigen NOAA-Satelliten und neue Sensoren zur Temperatur- und Feuchtigkeitsmessung, Windgeschwindigkeit und -richtung über den Ozeanen und Konzentrationsmessungen von Ozon und weiterer Spurengase.

Heute sind die Nahaufnahmen von MetOp eine wichtige Datenquelle für numerische Wetterberechnungen für Europa und die Welt, um präzise Vorhersagen zu ermöglichen. Die Abdeckung ist dabei essentiell, weshalb eine Serie von MetOp-Satelliten mögliche Lücken decken kann. Der dritte Satellit der Serie, MetOp-C, soll 2018 von Französisch-Guayana aus starten. Die ESA überwacht den Prozess der MetOp-Beschaffung für Eumetsat.

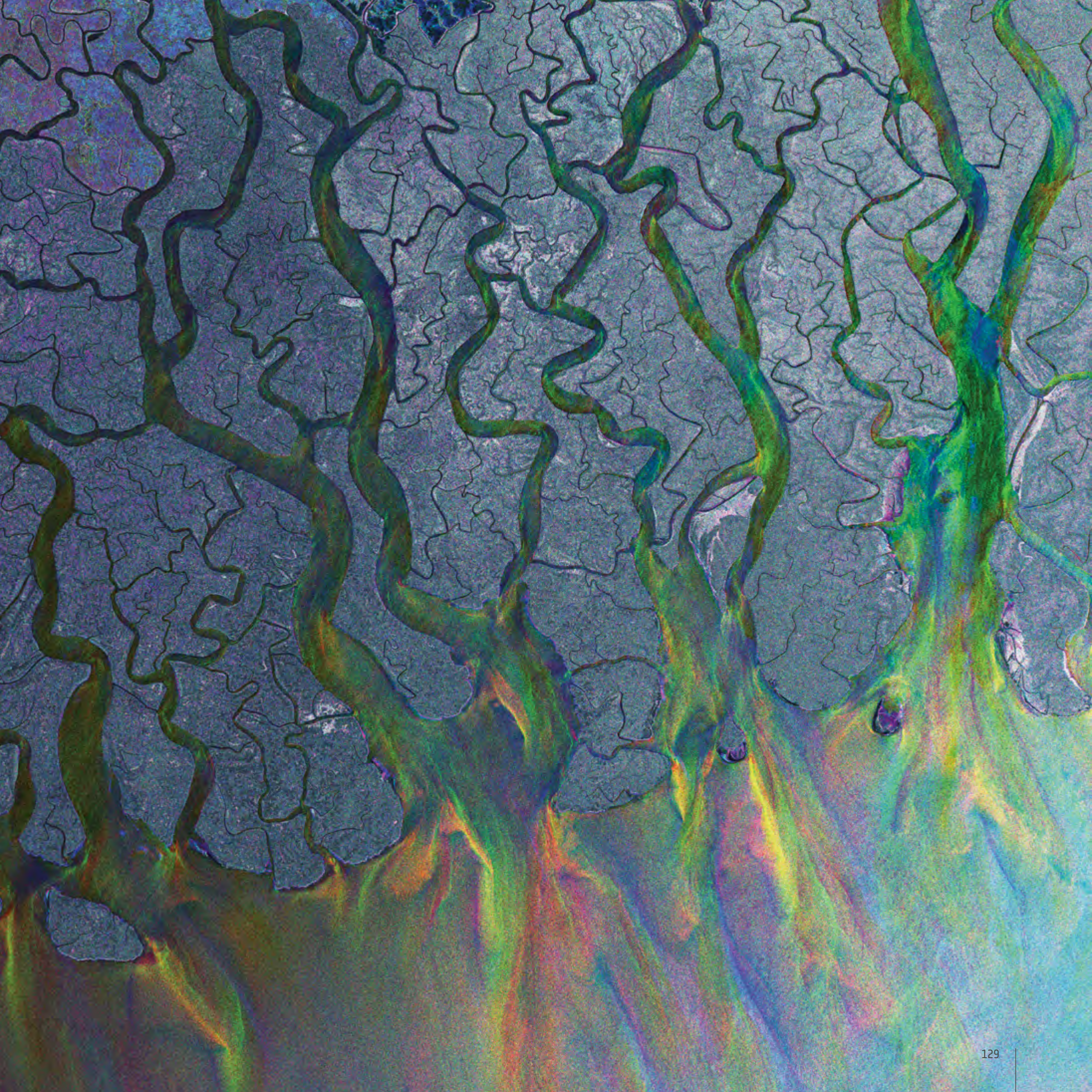
Radarsicht

Die ersten Missionen der ESA, die zurück auf die Erde blickten, waren die Wettersatelliten der Meteosat-Familie. Die Erdbeobachtungsmissionen der Agentur haben uns einen neuen Blick auf die Welt ermöglicht. Während die US-Landsat- und die französische Spot-Satellitenserie im Bereich sichtbarer Wellenlängen arbeiteten, überwachten die beiden europäischen Fernerkundungssatelliten der ESA – ERS-1 seit 1991 und ERS-2 seit 1995 – und als Nachfolger die Envisat Mission (2002), mit Radar die Land-, Meer- und Eisflächen der Erde.

Die Radarbilder, wie bei diesem Envisat-Bild mit synthetischer Apertur des Gangesdeltas (gegenüber), sehen ganz anders aus als herkömmliche Satellitenbilder, die auf reflektiertem Licht basieren. Satellitenradare senden kurze Impulse auf den Planeten und zeichnen die Rückstreuung auf. Die Radarbilder enthüllen die Struktur der Oberfläche und sind fähig, Vegetation und Nutzpflanzensorten, nassen und trockenen Boden, die Unebenheit des Ozeans, verschiedene Eis- und künstliche Strukturen zu unterscheiden. Das untenstehende Bild zeigt die gleiche Region in sichtbarem Licht. Es stammt vom Envisat -Instrument MERIS. Das Bild rechts hebt die hell reflektierenden Schiffe hervor, die sich beim International Fleet Review im Solent zwischen Portsmouth und der Isle of Wight in Großbritannien 2005 aufhielten. Das Verfolgen von Schiffen ist eine besondere Satellitenradaranwendung, wobei diese Technik auch für Eisberge funktioniert. Radare arbeiten unabhängig von Wolken und lokaler Dunkelheit und ermöglichen eine stete Überwachung der Erde.

Zudem können Radarbilder einer gleichen Stelle zu verschiedenen Zeiten mathematisch auf unterschiedliche Arten kombiniert werden, um die Veränderungen hervorzuheben. Beispielsweise ist dieses Bild des Ganges aus drei verschiedenen Quellen erstellt worden, wobei die Farben die saisonalen Unterschiede unterstreichen. Weitere Bilder heben kleine, nur millimetergroße Veränderungen der Landschaft hervor, wie beispielsweise tektonische Verschiebungen, Erdbebenrisse oder Tunnelabsenkungen.

Die ERS-Mission hatte ebenfalls Radar-Höhenmesser an Bord, um die Höhe der Erd- und Wassermassen der Erde zu überwachen, sowie Radiometer, um die Temperatur und die Reflektionseigenschaften zu notieren. Die nächste Generation von Envisat hat die Sicht Europas noch weiter verbreitert, wobei zu den 10 Instrumenten auch ein Multispektrometer gehörte.



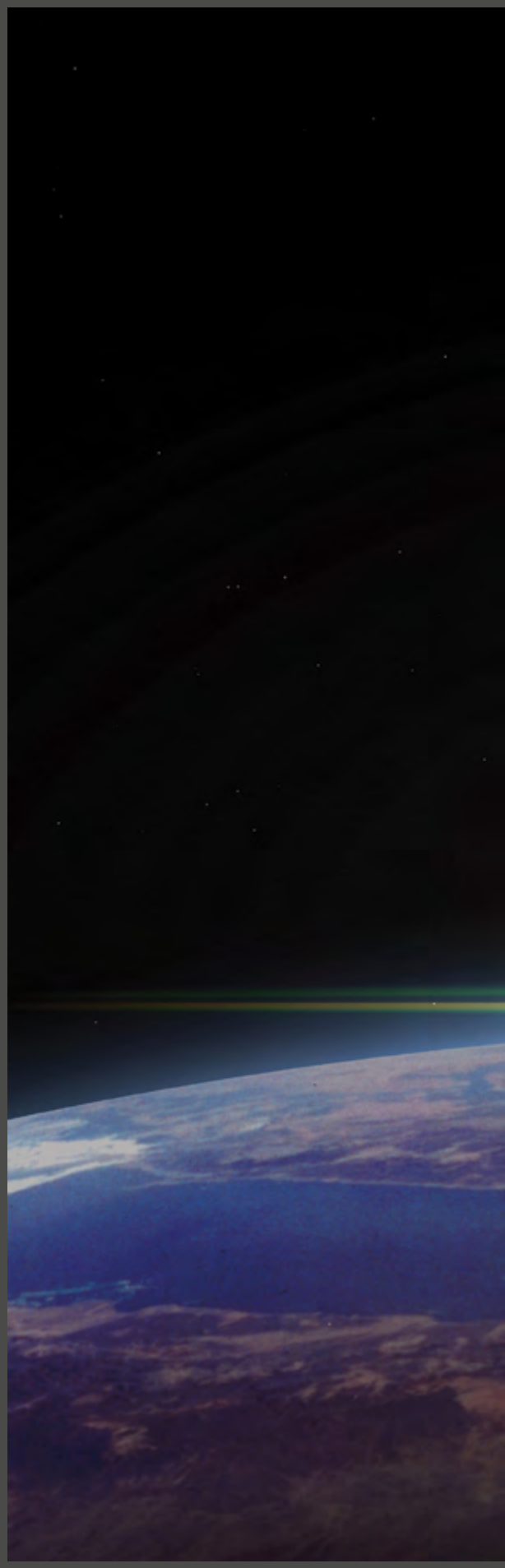
Envisat: 10 Lebensjahre auf der Erde

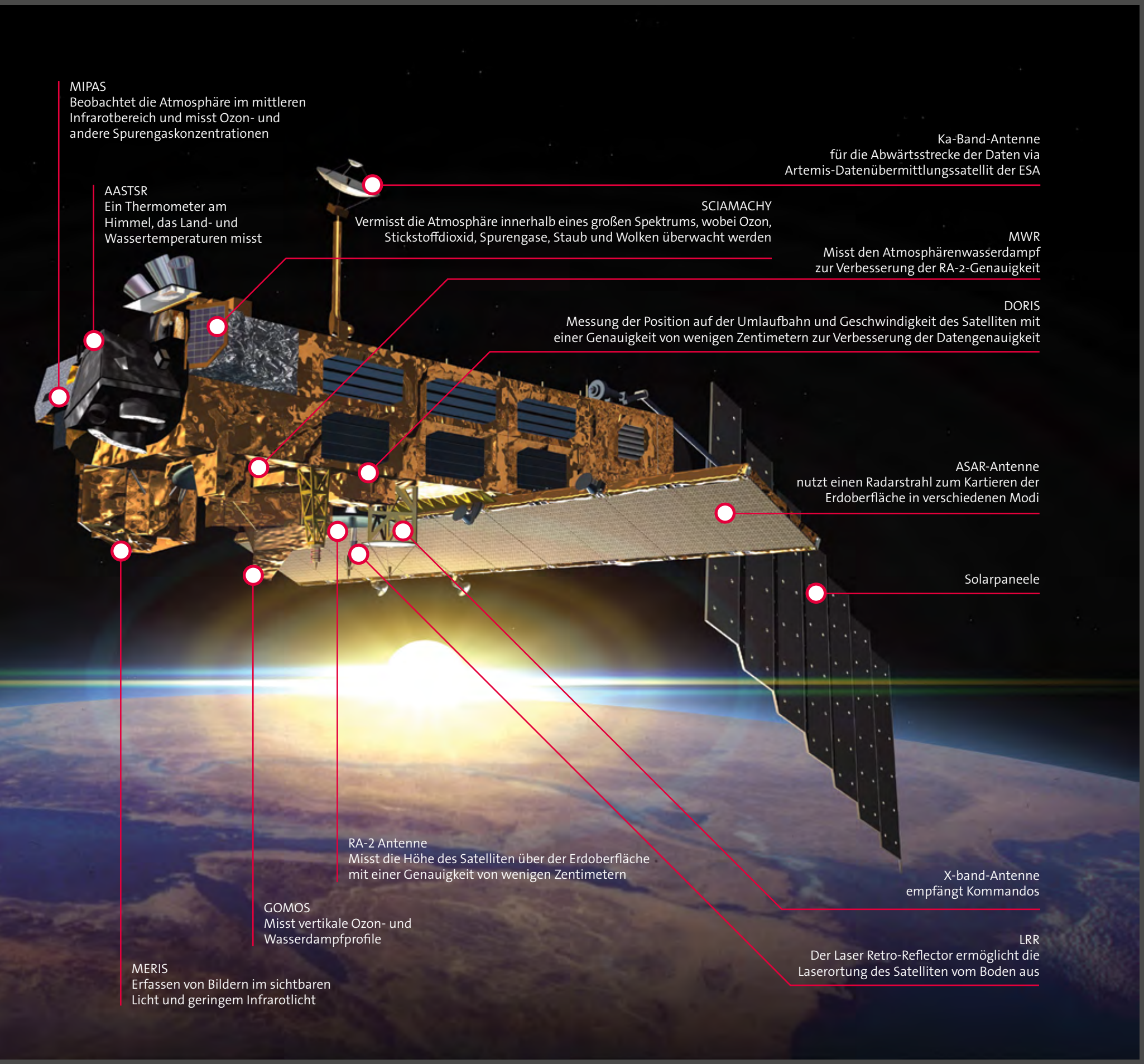
ESAs Envisat – kurz für Environmental Satellite, Umweltsatellit also – war die größte zivile Erdbeobachtungsmission, die jemals geflogen wurde. Während mehr als zehn Jahren, doppelt so lang wie ursprünglich geplant, haben die 10 hochentwickelten optischen Instrumente und Radargeräte die Landmassen, Atmosphäre, Ozeane und Eisdecken permanent überwacht. Das Resultat war ein äußerst reichhaltiges, detailliertes Bild des Erdsystems, wie es von einem einzigen Satelliten nie zuvor aufgezeichnet wurde.

In den frühen Morgenstunden des 1. März 2002 wurde der 8-Tonnen-schwere, lastwagengroße Satellit von Französisch-Guayana ins All geflogen, worauf er die Erde 14 Mal am Tag bei einer Geschwindigkeit von 7,45 km/s umkreiste. Envisat war ein großer Beitrag Europas für ein drohendes Problem: Das Klima verändert sich seit dem Ende der letzten Eiszeit vor 10.000 Jahren schneller denn je. Wissenschaftler und Entscheidungsträger sind sich einig, dass der Klimawandel heute das größte Problem unseres Planeten ist.

Envisat hat ein kombiniertes Porträt unseres sich schnell wandelnden Planeten erstellt: Die Radarinstrumente haben den Rekord der früheren ESA-Erdbeobachtungsmissionen ERS-1 und -2 übertroffen und mit einer erweiterten Perspektive durch zusätzliche Sensoren ergänzt. Der Satellit hat sich als wichtiges Instrument für die Erdwissenschaft herausgestellt: Ungefähr 2000 wissenschaftliche Publikationen basieren auf diesen Resultaten. Genauso wichtig war, dass die Envisat-Daten es ermöglichten, ein breites Portfolio operativer Dienste zur Umweltinformation als Teil des europäischen Copernicus-Programms zu erstellen, was den Umweltbehörden und Entscheidungsträgern ein bestmögliches Verständnis der Natur verschaffte, um sie zu schützen, und um gleichzeitig zivile Sicherheitsmaßnahmen zu treffen.

Envisat ging nach 10 Jahren erfolgreicher Arbeit in den Ruhestand. Nachdem der Nutzen für kontinuierliche Radar- und Spektrometerdaten demonstriert war, folgten weitere Missionen dieser Art. Missionen wie Kanadas Radarsat-2, Deutschlands TerraSAR-X, Italiens Cosmo-Skymed und Großbritanniens Disaster Monitoring Constellation tragen dazu bei, die Datenlücken für Nutzer zwischen dem Ende von Envisat und dem Start der Nachfolger, den Sentinels, abzudecken.




MIPAS
Beobachtet die Atmosphäre im mittleren Infrarotbereich und misst Ozon- und andere Spurengaskonzentrationen
AASTSR
Ein Thermometer am Himmel, das Land- und Wassertemperaturen misst
Ka-Band-Antenne
für die Abwärtsstrecke der Daten via Artemis-Datenübermittlungssatellit der ESA
SCIAMACHY
Vermisst die Atmosphäre innerhalb eines großen Spektrums, wobei Ozon, Stickstoffdioxid, Spurengase, Staub und Wolken überwacht werden
MWR
Misst den Atmosphärenwasserdampf zur Verbesserung der RA-2-Genauigkeit
DORIS
Messung der Position auf der Umlaufbahn und Geschwindigkeit des Satelliten mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern zur Verbesserung der Datengenauigkeit
ASAR-Antenne
nutzt einen Radarstrahl zum Kartieren der Erdoberfläche in verschiedenen Modi
Solarpaneele
RA-2 Antenne
Misst die Höhe des Satelliten über der Erdoberfläche mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern
X-band-Antenne
empfängt Kommandos
GOMOS
Misst vertikale Ozon- und Wasserdampfprofile
LRR
Der Laser Retro-Reflector ermöglicht die Laserortung des Satelliten vom Boden aus
MERIS
Erfassen von Bildern im sichtbaren Licht und geringem Infrarotlicht

Die Sentinels: die Erde im Blick

Die neue Familie der Sentinel-Missionen bilden das weltraumgestützte Fundament von Copernicus, in dessen Rahmen Erdbeobachtungsdaten an eine Vielzahl von Betriebsdienstleistungen für die Überwachung der Umwelt und den Zivilschutz geleitet werden.

Der multifunktionale Envisat-Satellit zeigte, dass eine breite Palette von Dienstleistungen zur Umweltinformation möglich ist. Aber bald schon wurde klar, dass um diese Dienstleistungen zuverlässig und aktuell zu halten, mehr als nur ein einziger experimenteller Satellit nötig war. Deshalb werden bei der nächsten Generation die verschiedenen Beobachtungsfunktionen von Envisat in verschiedene, einzelne und kleinere Missionen aufgeteilt. Und jede Mission besteht aus zwei Satelliten, die sich jeweils auf der gleichen Umlaufbahn gegenüber stehen, um schneller eine größere Fläche des Planeten abdecken zu können.

Die fünf Familien der ESA-Sentinels werden zusammen mit Missionen anderer Raumfahrtagenturen zu Copernicus Daten beisteuern. Ein gemeinsames Bodensegment, durch das die Daten fließen und für Copernicus-Dienste frei zugänglich gemacht werden, vervollständigt die Raumfahrtkomponente.

Während die Sentinel-Satelliten speziell für das Programm entwickelt wurden, bringen beitragende Missionen jetzt schon unzählige Daten für Copernicus und werden dies auch weiterhin tun, wenn die Sentinels die Erde umkreisen.

Sentinel-1 ist eine über den Polen kreisende Mission zur Radarbildgebung, die bei jedem Wetter, sowie Tag-und-Nacht für Land- und Meeresdienste arbeitet. Der erste Sentinel-1-Satellit startete 2014.

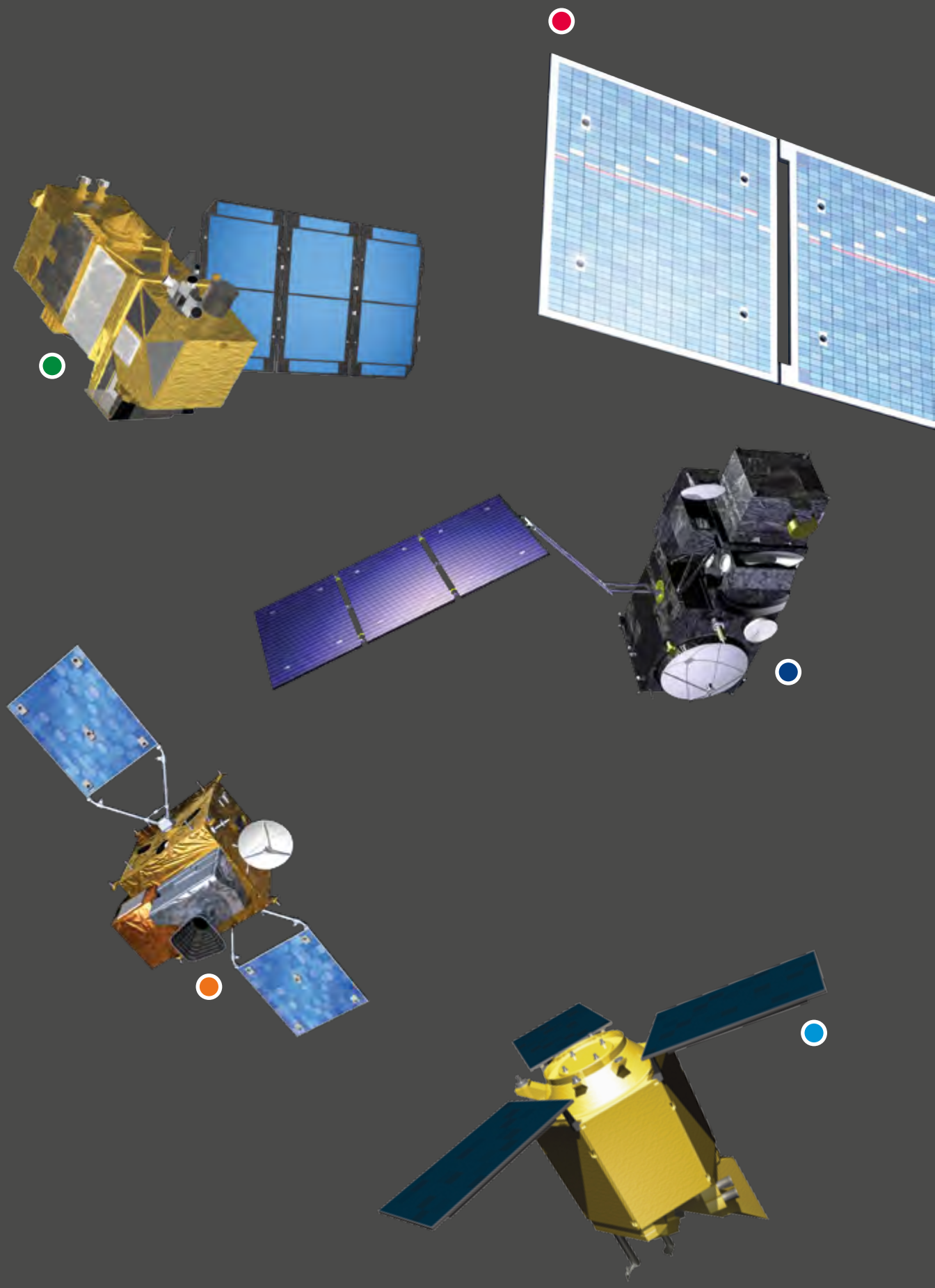
Sentinel-2 ist eine polumkreisende, multispektrale, hochauflösende Bildgebungsmission für die Landüberwachung, die beispielsweise Bilder von Vegetation, Erde und Wasser, Binnengewässern und Küstengebieten liefert. Sentinel-2 wird zudem Informationen für Notfalldienste liefern. Der erste Sentinel-2-Satellit startet 2015.

Sentinel-3 ist eine polare, Mehrfachinstrumenten-Mission, die Variablen wie die Topographie der Meeresoberflächen, die Temperatur von Meer- und Landflächen, Ozean- und Landfarben mit höchster Genauigkeit und Zuverlässigkeit aufnimmt. Der erste Sentinel-3-Satellit startet 2015.

Sentinel-4 ist die Nutzlast, die auf einem Meteosat-Satelliten dritter Generation (MTG-S) mit Echolot in einer geostationären Umlaufbahn fliegen wird, der 2019 starten soll. Sentinel-4s Aufgabe ist die Atmosphärenüberwachung.

Sentinel-5 ist die Nutzlast, die von einem MetOp-Satelliten zweiter Generation getragen wird, er soll 2021 gestartet werden. Sentinel-5s Aufgabe ist ebenfalls die Atmosphärenüberwachung.

Sentinel-5 Precursor soll 2015 starten, womit die Datenlücken zwischen Envisat und Sentinel-5 verkleinert werden. Diese Mission widmet sich ebenfalls der Atmosphärenüberwachung.



Etwas liegt in der Luft

Aus dem Weltraum gesehen ist unsere Atmosphäre mit ihren 100 Kilometern dünn und sehr verletzlich, zumindest, wenn sie aus nichtmenschlichen Augen beobachtet wird. Diese hochauflösende globale Atmosphärenkarte mit Stickstoffdioxidverschmutzung macht klar, wie menschliche Aktivitäten die Luftqualität beeinflussen.

Envisats Scanning-Bildgebungs-Absorptions-Spektrometer für die atmosphärische Kartographie, Sciamachy, hat das Spektrum des Sonnenlichts kartiert, das durch die Atmosphäre gelangt. Die Resultate konnten dann genau analysiert werden, um die „Fingerabdrücke" der Spurengase in der Luft sichtbar zu machen.

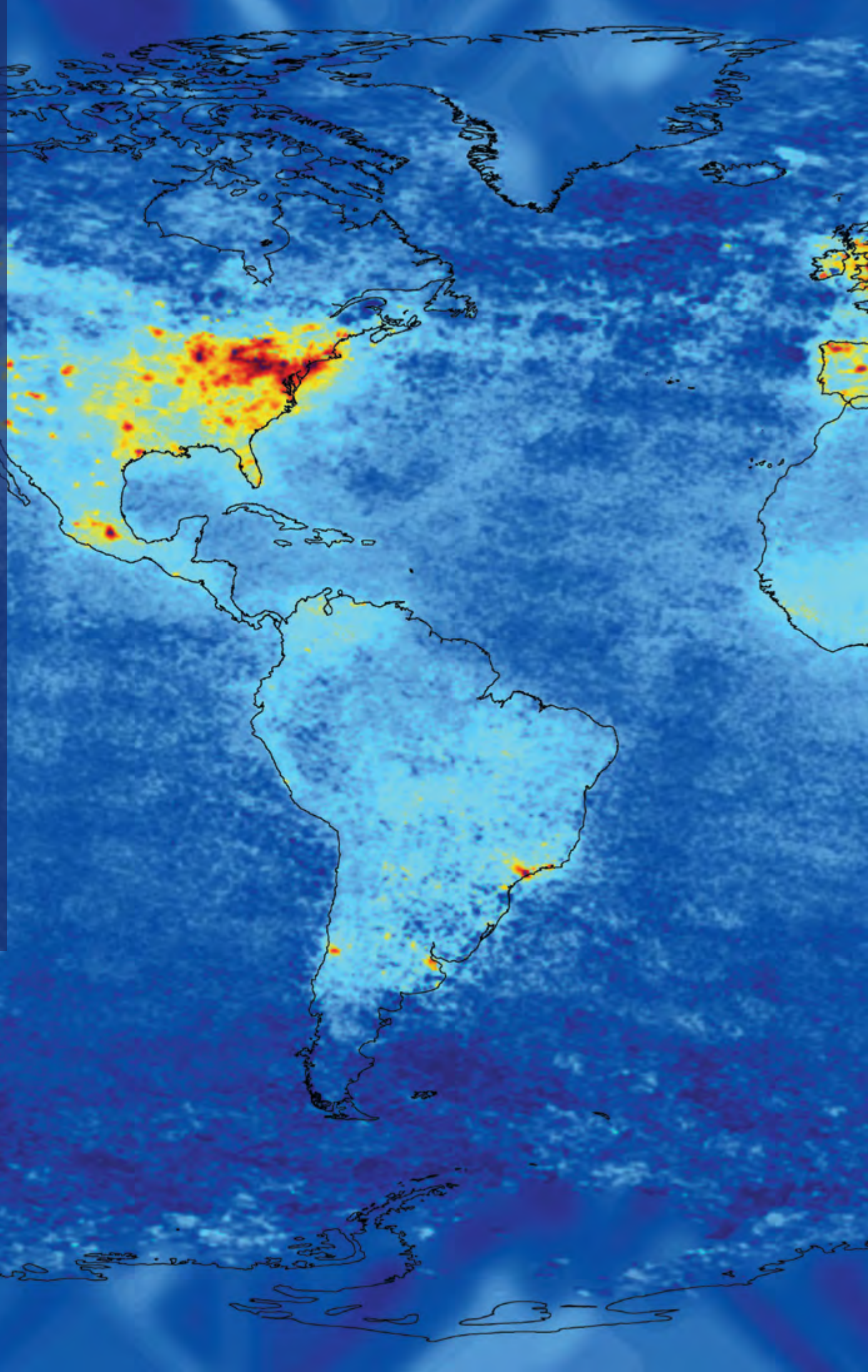
Stickstoffdioxid ist hauptsächlich ein vom Menschen gemachtes Gas, das bei langanhaltendem Kontakt Lungenschäden und Atemprobleme hervorruft. Zudem spielt es eine wichtige Rolle in der Atmosphärenchemie, denn es führt zur Ozonproduktion in der Troposphäre, dem niedrigsten Teil der Atmosphäre, der zwischen 8 und 16 Kilometern über der Erde liegt.

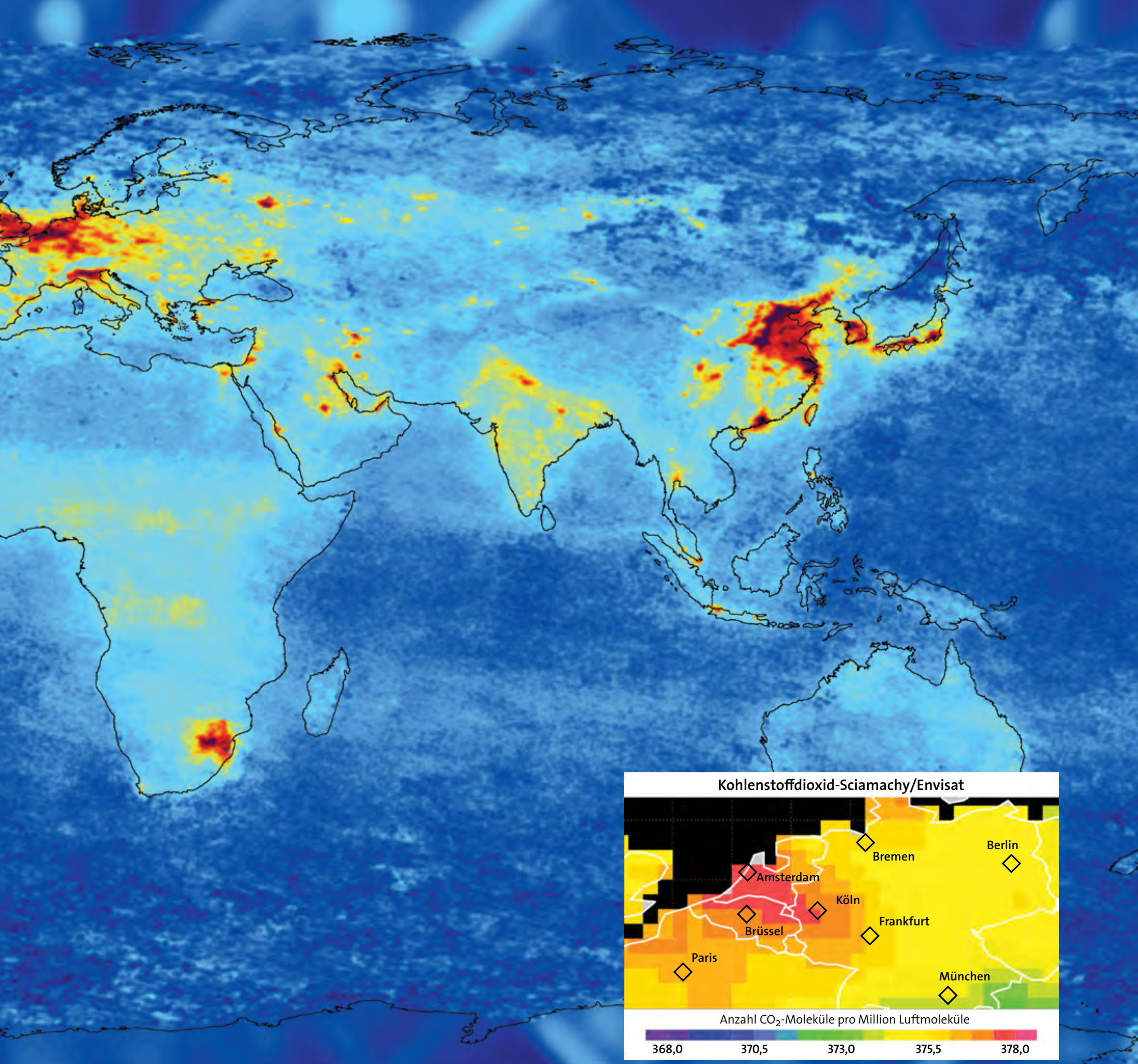
Stickstoffoxide werden von den Emissionen von Kraftwerken, der Schwerindustrie und dem Straßentransport sowie der Verbrennung von Biomasse produziert. Blitze und Mikroben im Boden schaffen auf natürliche Weise ebenfalls Stickstoffoxide.

Bestimmte Messungen des Stickstoffdioxids vor Ort in der Atmosphäre werden in vielen westlichen Industrieländern durchgeführt, aber es sind zu wenige.

Satellitensensoren sind die einzige Möglichkeit eine effiziente globale Überwachung durchzuführen, da so die Atmosphäre horizontal und vertikal überwacht wird. Optische Bildgebungsverfahren zeigen die Konzentration von Atmosphärenstaub auf der ganzen Welt, der das Klima und die menschliche Gesundheit beeinflusst.

Während diese Resultate global gesammelt werden, können sie in numerische Modelle zur Umweltverschmutzung in stark bewohnten Gebieten umgewandelt werden, was die Luftqualität voraussagen lässt. Dieser Copernicus-Dienst heißt Promote.




Kohlenstoffdioxid-Sciamachy/Envisat
Bremen
Berlin
Amsterdam
Köln
Brüssel
Frankfurt
Paris
München
Anzahl CO_2-Moleküle pro Million Luftmoleküle
368,0
370,5
373,0
375,5
378,0

Ein Loch im Himmel

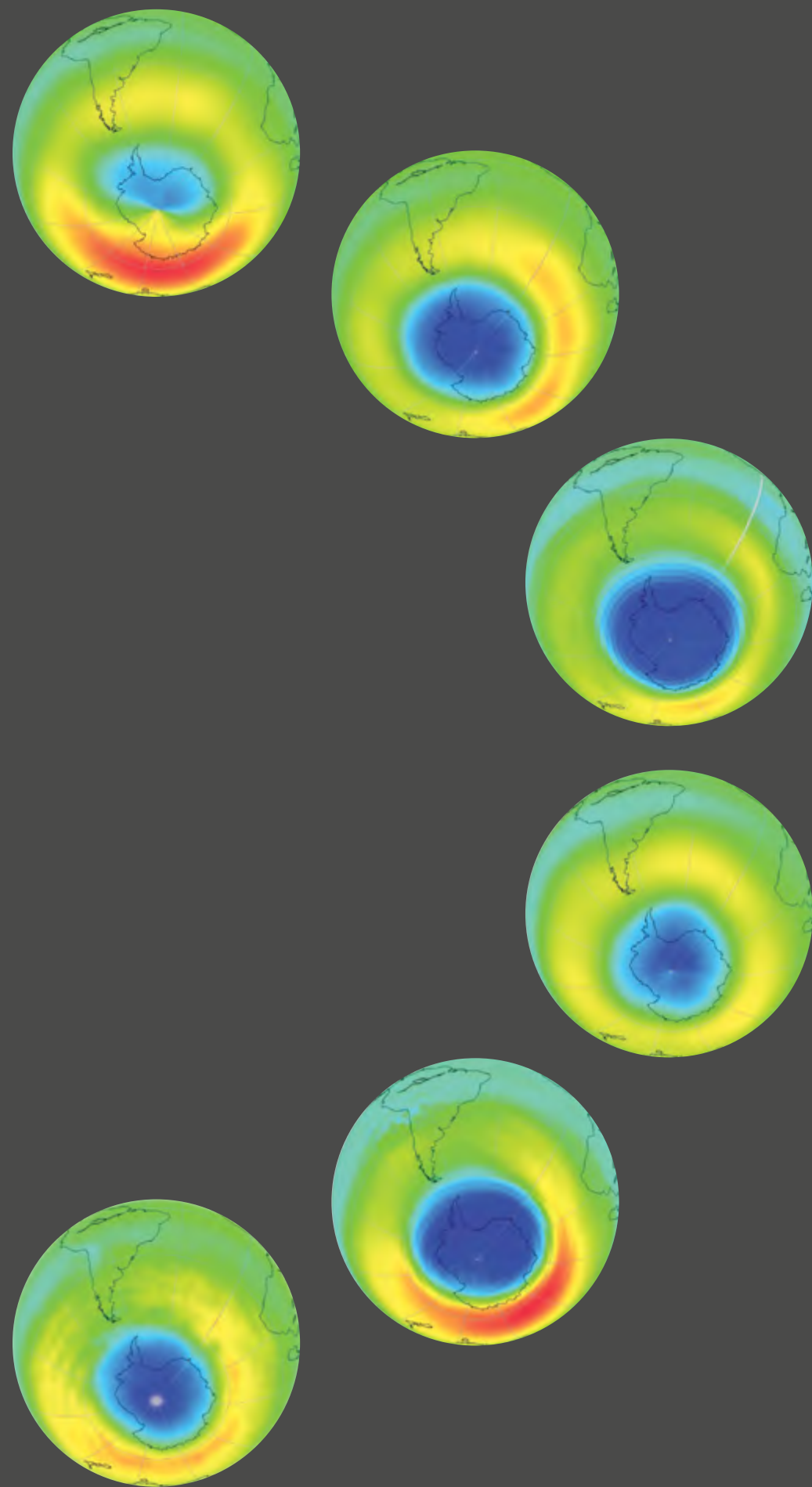
Das saisonale Ozonloch über der Antarktis, aufgenommen von Envisats Sciamachy-Sensor (gegenüber). Antarktisforscher entdeckten vom Boden aus in den 1980er-Jahren die Lücke in dieser Schutzatmosphäre, aber ihre Resultate schienen so schockierend, dass Satellitendaten nötig waren, um sie zu bestätigen.

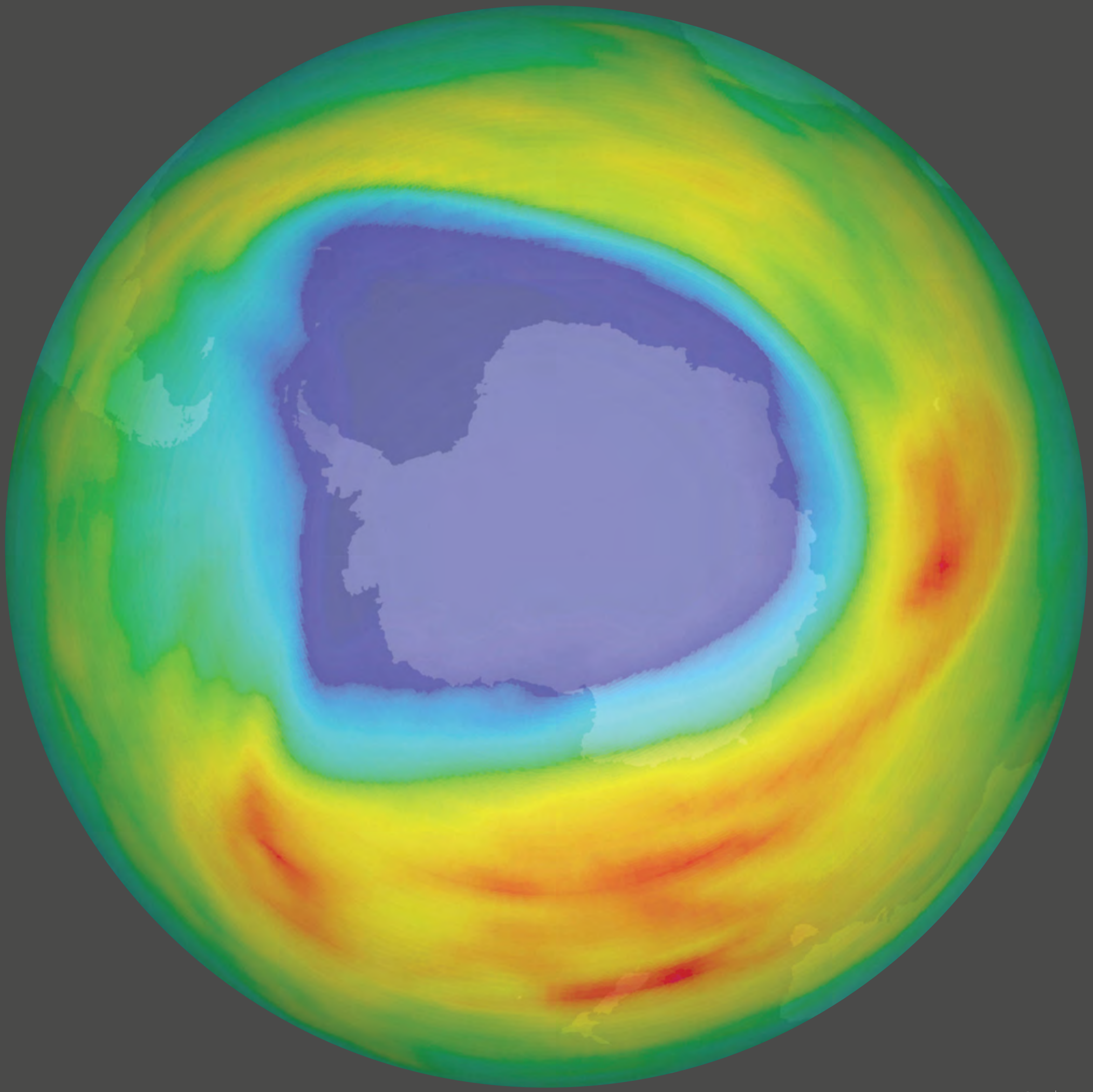
Die Ozonschicht auf einer Höhe von 25 Kilometern filtert die gefährliche Ultraviolettstrahlung aus dem Sonnenlicht. Diese kann das Risiko für Hautkrebs und grauen Star erhöhen sowie den Meerestieren schaden. Der Abbau der Ozonschicht wird aufgrund der extrem niedrigen Temperaturen in großer Höhe und dem Vorhandensein von ozonzerstörenden Gasen wie Chlor und Brom aus vom Menschen hergestellten Produkten wie Fluorchlorkohlenwasserstoffen hervorgerufen, die zwar 1987 mit dem Montreal Protokoll verboten wurden, aber immer noch in der Atmosphäre verbleiben.

Wie hier 2008, erreichte die ausgedünnte Ozonschicht über dem Südpol ungefähr 27 Millionen Quadratkilometer – im Vergleich dazu der Rekord 2006 mit 29 Millionen Quadratkilometern – was der Fläche Nordamerikas entspricht.

Je nach Wetterbedingungen variiert das Ozonloch über der Antarktis von Jahr zu Jahr. Während des Winters in der Südhemisphäre wird die Atmosphäre über der Antarktis von den vorherrschenden Winden, dem Polarwirbel, vom Luftaustausch in mittlerer Höhe abgeschnitten. Dies passiert genau in dem Bereich, in dem die größte chemische Ozonzerstörung stattfindet. Der Polarwirbel wird von sehr niedrigen Temperaturen charakterisiert, die zu polaren stratosphärischen Wolken führen.

Im polaren Frühling im September oder Oktober führt die Kombination des erneuten Sonnenlichts zusammen mit der Präsenz der polaren stratosphärischen Wolken zu einer Freisetzung von hochreaktiven Chlorradikalen, die Ozon in einzelne Sauerstoffmoleküle auftrennen. Ein einziges Chlormolekül kann tausende Ozonmoleküle zerstören. Ein ähnliches, kleineres saisonales Ozonloch findet sich über der Arktis, wobei es manchmal bis nach Europa reicht. Verschiedene Satelliteninstrumente haben die Beobachtung der Ozonlöcher über den Polen ab ERS-2 GOME fortgesetzt (s. Bilder links), wobei heute MetOps GOME-2 die Daten sammelt.





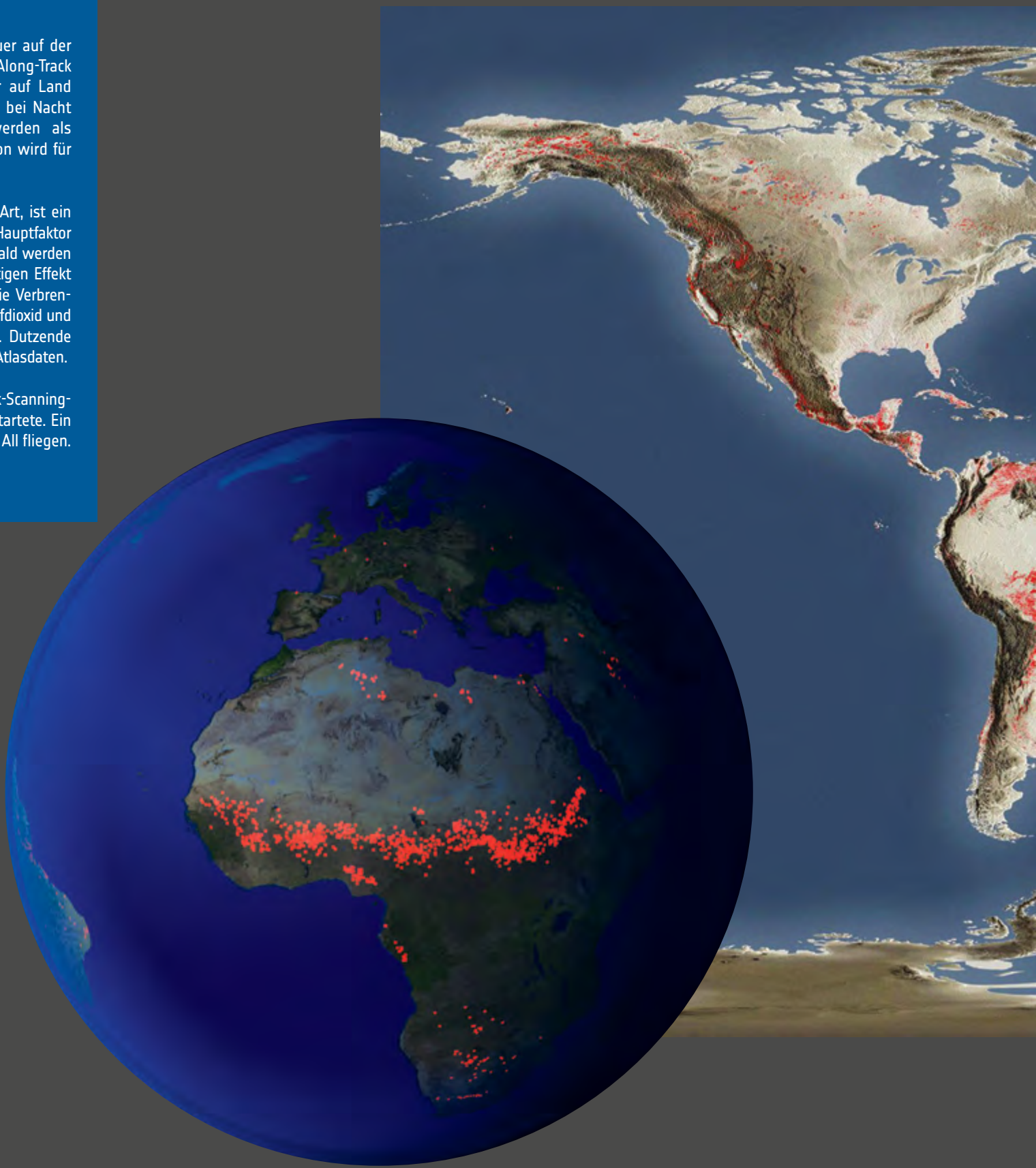
Planet in Brand

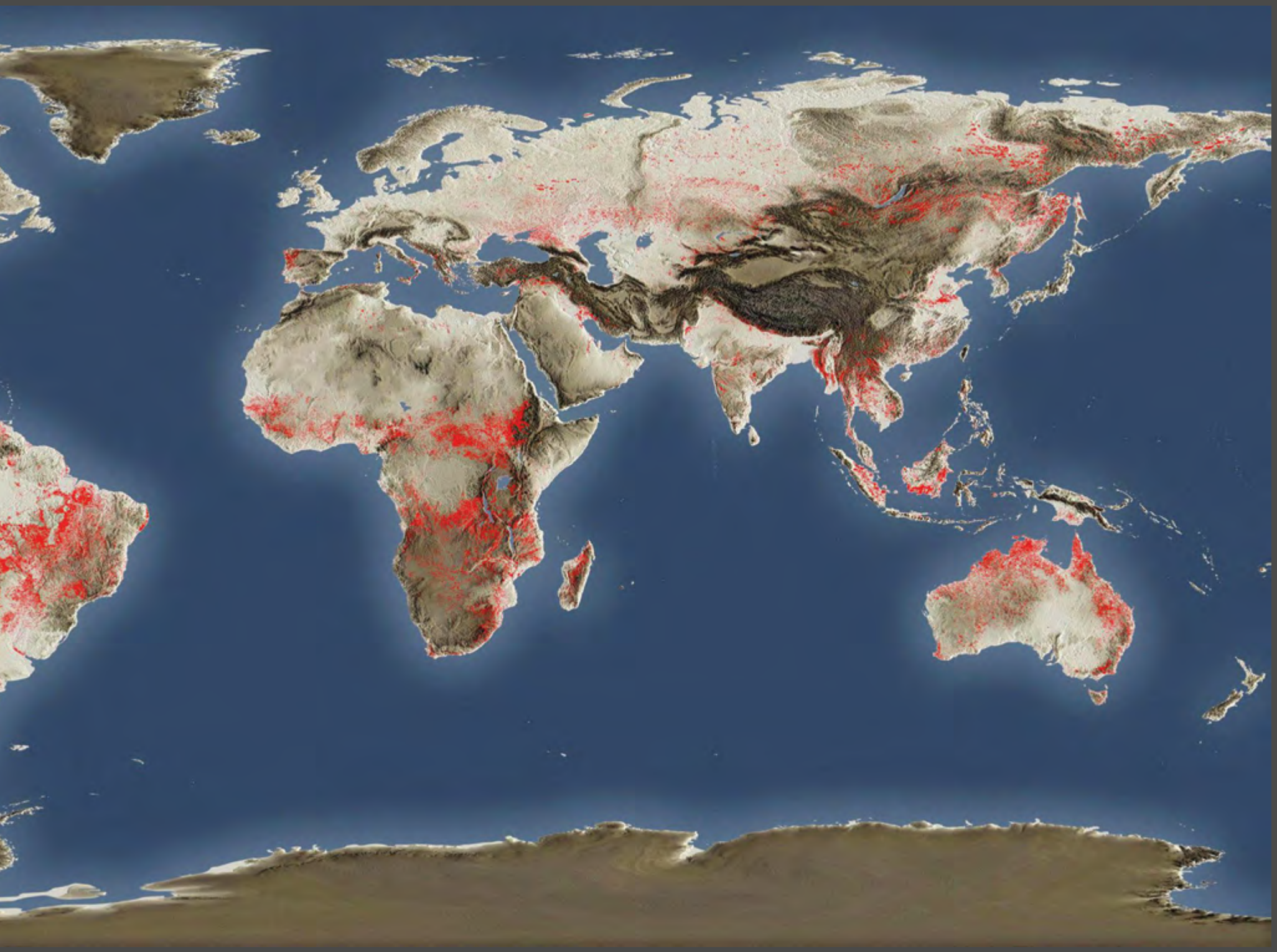
Die Erde ist auf überraschende Weise einzigartig. Die Sauerstoffatmosphäre macht sie zum einzigen Planeten, auf dem Feuer frei brennen kann. Dies hat für unsere Umwelt und unser Klima wichtige Konsequenzen.

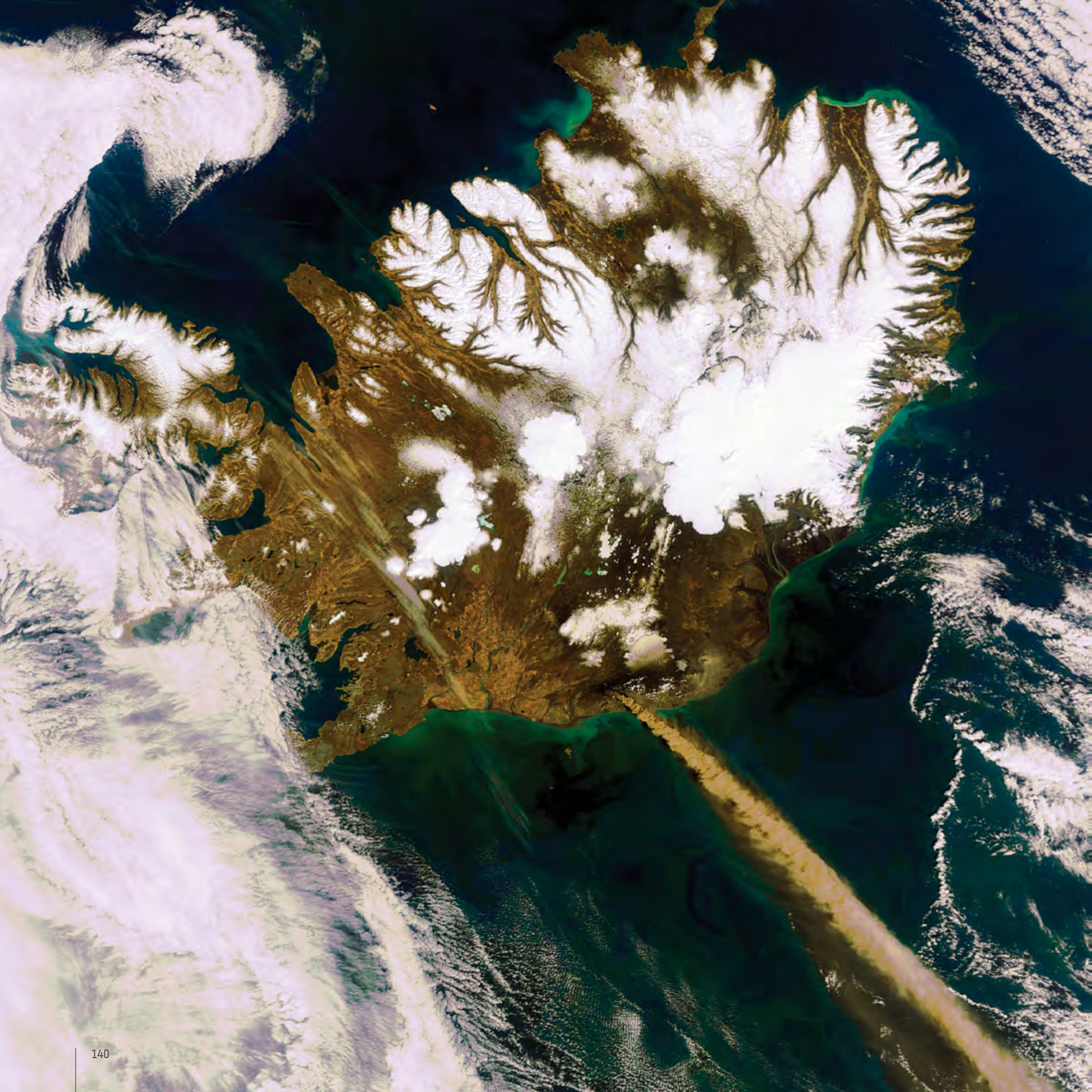
Die ESA-Satelliten haben über 15 Jahre hinweg Feuer auf der ganzen Welt beobachtet. Envisats Advanced Along-Track Scanning Radiometer überwachten die Temperatur auf Land und Wasser konstant. Temperaturen über 38,85 °C bei Nacht – wenn das umliegende Land kühler ist – werden als brennendes Feuer klassifiziert, und diese Information wird für den ATSR-Weltfeueratlas genutzt.

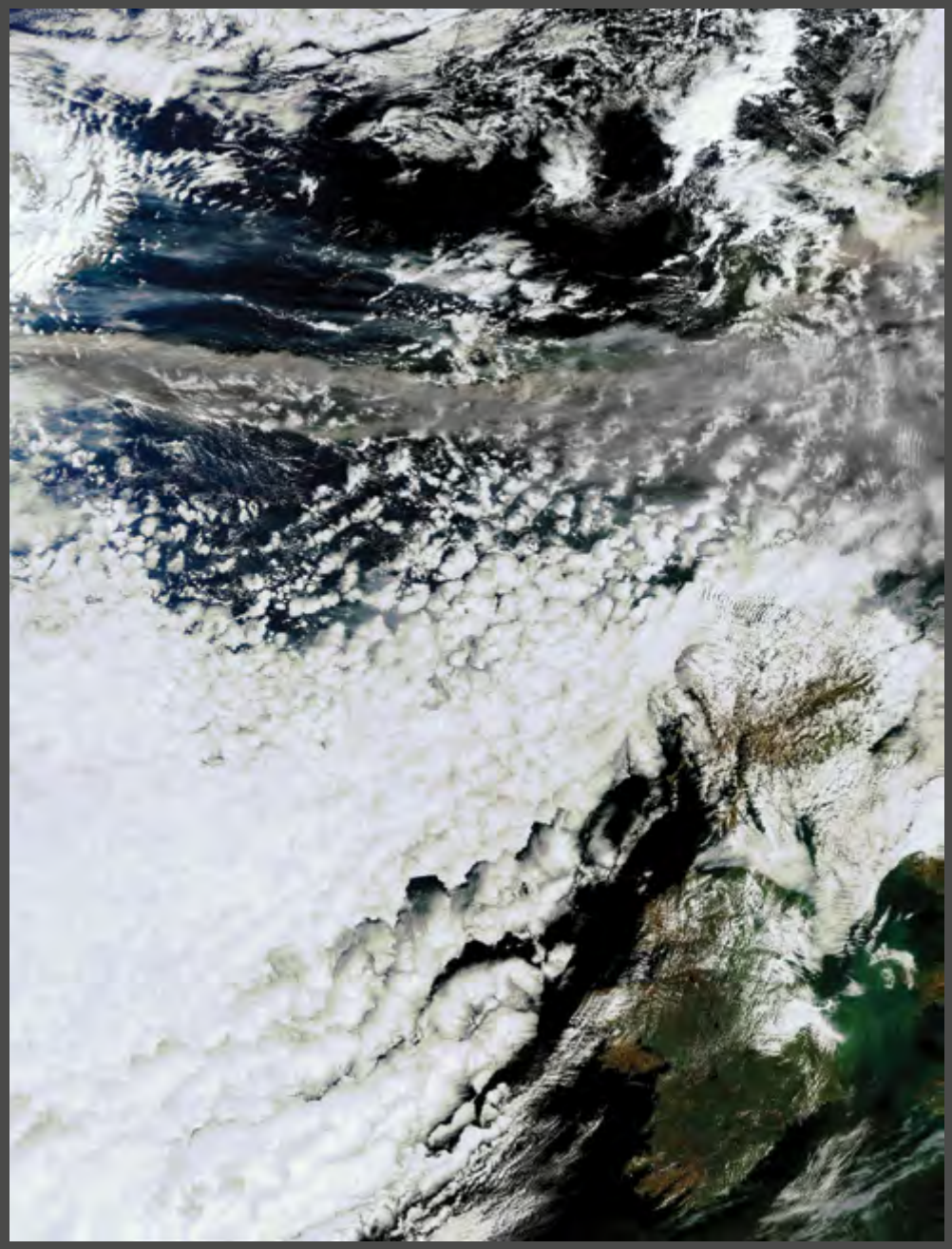
Der Weltfeueratlas, der erste Mehrjahresatlas dieser Art, ist ein wichtiges wissenschaftliches Dokument, da Feuer ein Hauptfaktor des Klimawandels ist. Mehr als 50 Millionen Hektar Wald werden jährlich verbrannt und diese Feuer haben einen wichtigen Effekt auf die globale Atmosphärenverschmutzung, wobei die Verbrennung von Biomasse die globalen Werte von Kohlenstoffdioxid und anderen Treibhausgasen in die Höhe schnellen lässt. Dutzende wissenschaftlicher Publikationen basieren auf diesen Atlasdaten.

Vor Envisat basierte der Atlas auf dem Along-Track-Scanning-Radiometer des ERS-2-Satelliten der ESA, der 1995 startete. Ein Nachfolgerinstrument wird auf Sentinel-3 der ESA ins All fliegen.









Staub am Himmel

Als im April 2010 der Vulkan Eyjafjallajökull auf Island von unterhalb der Eisschicht ausbrach, flog Mineralasche bis zu 10 Kilometer hoch in die Atmosphäre, was während mehrerer Tage im April und Mai zur Schließung eines Großteils des europäischen Luftraums führte. Die hohe Konzentration abrasiver Partikel hätte die Tragflächen und Triebwerksturbinen zerkratzen und die Motoren verstopfen können.

Die Satelliten verfolgten die Bahn des Staubs, während ein am Boden liegender Kontinent darauf wartete, bis der Staub sich lichtete. Auf dem Hauptbild, das das MERIS-Instrument auf ESAs Envisat-Satellit am 11. Mai 2010 aufgenommen hat, ist eine schwere Aschenwolke zu sehen, die sich vom Vulkan her in leicht südöstlicher Richtung ausbreitet. Die braun-graue Wolke ist ungefähr 400 Kilometer lang. Spezielle Techniken wurden verwendet, um die Wolkenhöhe der Asche zu bestimmen. Die beiden Bilder wurden bei voller Auflösung aufgenommen, was einer Bodenabdeckung von 300 Metern entspricht. Das untere Bild der hochauflösenden Kamera auf dem Proba-1-Mikrosatelliten der ESA zeigt eine Nahaufnahme des Anfangspunktes der Wolke mit einer Auflösung von 5 m, aufgenommen am 20. April.

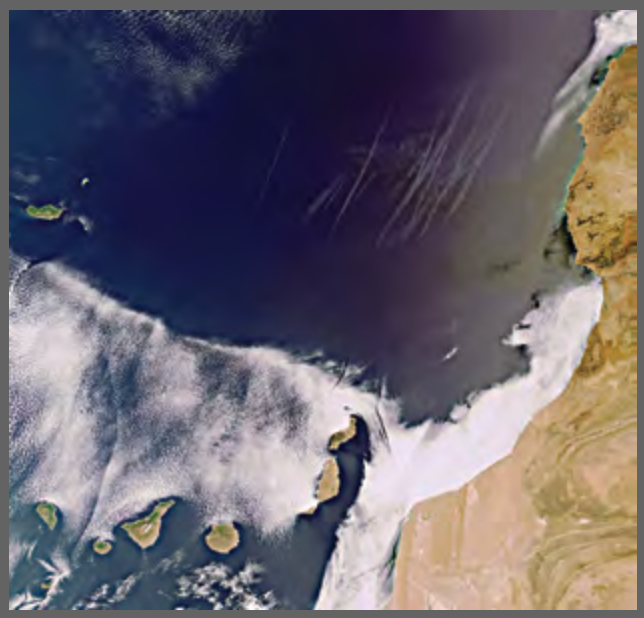
Fluglinien

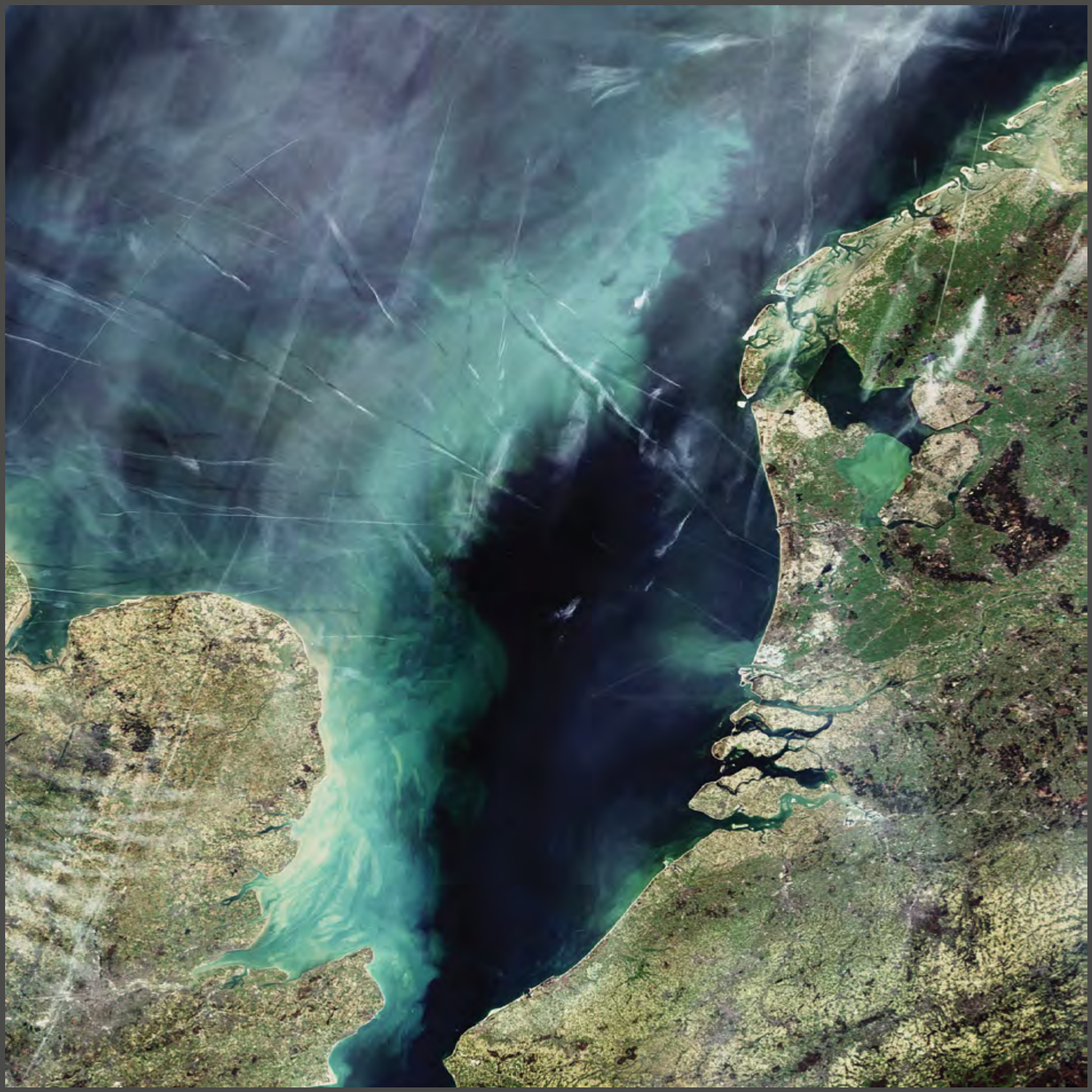
Europa hat einen der verkehrsreichsten Flugräume der Erde, was Konsequenzen mit sich bringt, die sich aus der Umlaufbahn verfolgen lassen. Dieses Envisat MERIS-Bild über der Nordsee zeigt verschiedene Flugzeugkondensstreifen über Teilen der Niederlande (oben rechts), Belgien (unten rechts) und England (unten links). Das untere Bild zeigt ähnliche Kondensstreifen im Süden unseres Kontinents über dem Atlantik, leicht nördlich der Kanarischen Inseln.

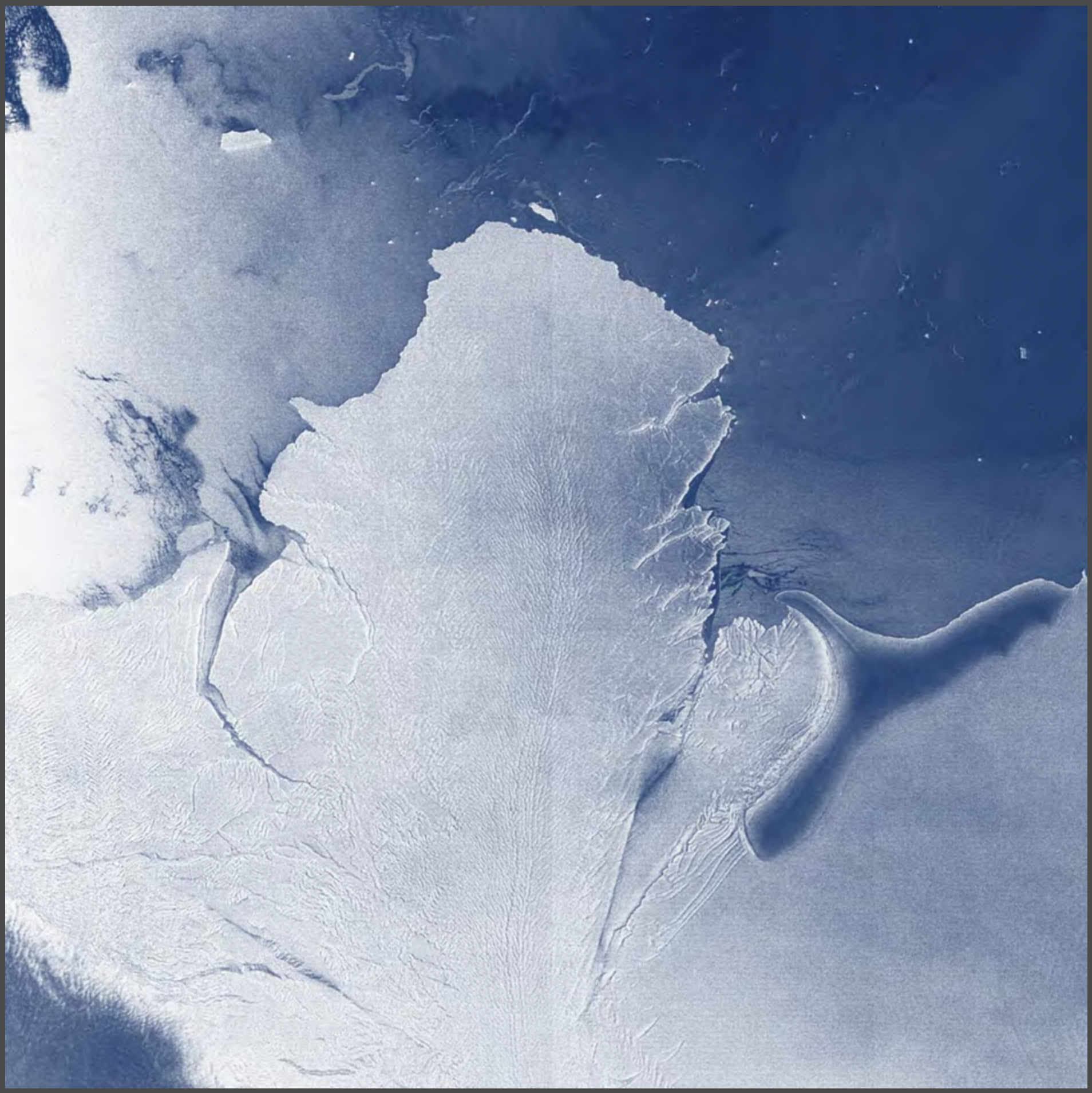
Die Abgase von Düsenverkehrsflugzeugen enthalten große Wasserdampfmengen, die bei gewissen Atmosphärenbedingungen zu kleinen Eiskristallen kondensieren. Diese agieren dann als kleine Kondensationskeime, um die herum mehr Wasser aus der Umgebungsluft kondensiert. Das Resultat sind lange, wolkenähnliche Kondensstreifen am Himmel.

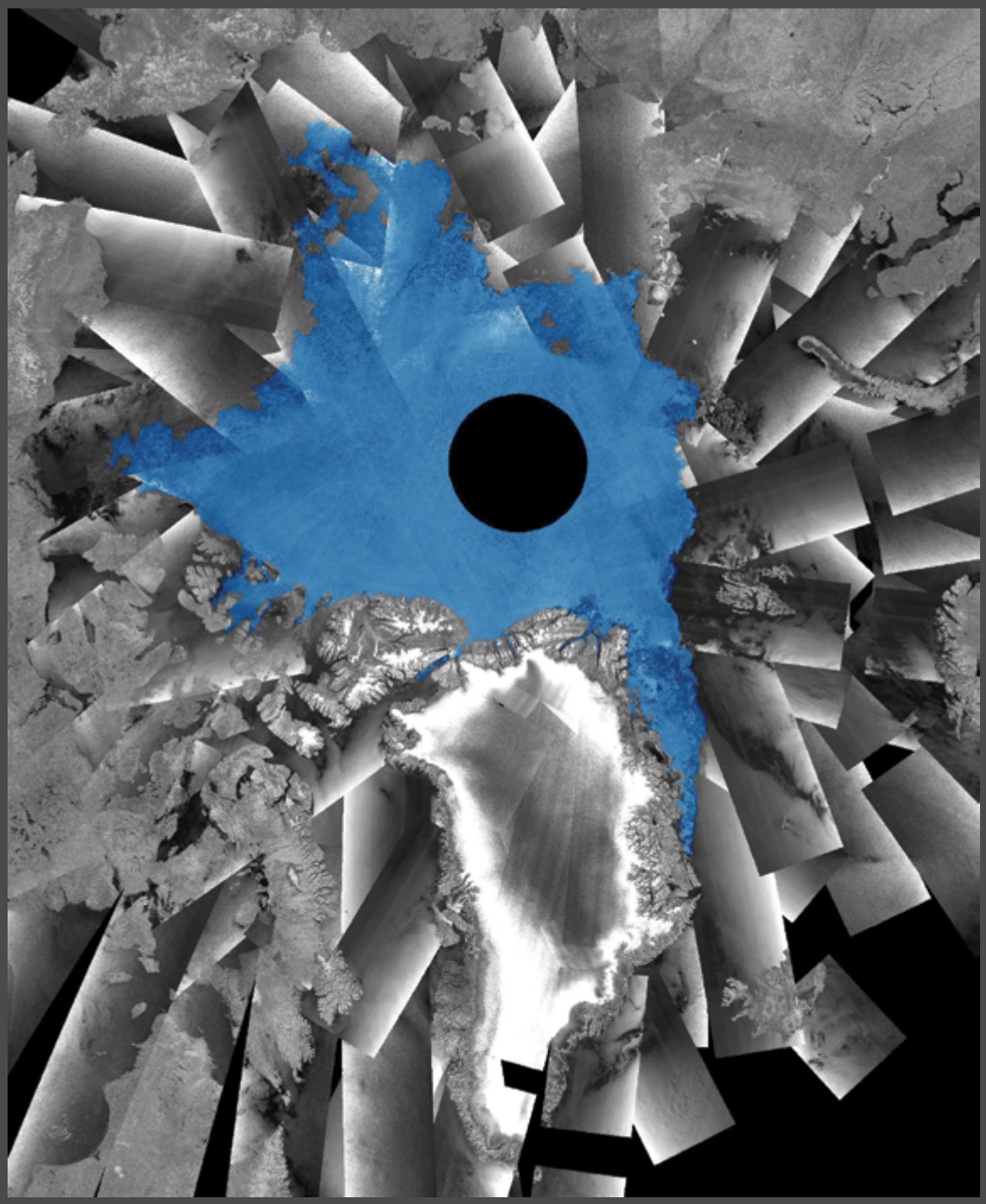
Forscher nutzen Satellitendaten, um herauszufinden, wie diese Kondensstreifen den Klimawandel beeinflussen. Während die meisten Wolken einen kühlenden Effekt auf die Erde haben, da Sie das Sonnenlicht reflektieren, haben die hohen Zirruswolken, die aus Kondensstreifen entstehen einen isolierenden Effekt, der die Atmosphärentemperatur in die Höhe schnellen lässt. Als während dem Ausbruch des Vulkans Eyjafjallajökull 2010 die Flugzeuge am Boden bleiben mussten, konnte ein kühlender Nettoeffekt beobachtet werden, was schon nach den Terroristenangriffen vom 11. September 2001 in den USA der Fall war.

Die verschiedenen Grüntöne im Meer auf diesem Bild stammen von den Sedimenten im Wasser. Dieses Bild vom 21. März 2009 hat eine Auflösung von 300 m.









Eiskanten

Das Envisat Radarbild (gegenüber) zeigt das Brunt-Eisschelf/ Stancomb-Wills-Eiszungensystem an der Nordküste von Coatsland in der Ostantartiks, das pro Jahr mehrere hundert Meter in Richtung Meer wandert. Sobald es das Weddel-Meer erreicht, wird es von höheren Temperaturen und den Gezeiten umgeben, was dazu führt, dass das Eis abbricht und zu Eisbergen wird.

Seit Mitte der 1950er-Jahre ist das Schelfeis die Basis der britischen Antarktis-Forschungsstation Halley. Halley wird mit der Bewegung des Eisschelfes mitgenommen. Die Station driftet pro Jahr ungefähr einen halben Kilometer nach Nordwesten.

Das Untersuchen der Eisschelfe ist wichtig, da sie Indikatoren des Klimawandels sind. Während der letzten zwei Jahrzehnte waren die ERS- und Envisat-Missionen der ESA die Hauptquellen zur Beschaffung von Erdbeobachtungsdaten in Polregionen, mit Radarinstrumenten, die durch die polaren Wolken und die Dunkelheit im Winter blicken können.

Im Norden (nebenan) sank 2007 die vom arktischen Eis bedeckte Fläche auf das tiefste von Satelliten gemessene Niveau, wobei diese Messungen vor beinahe 30 Jahren begannen. Dies führte zur Öffnung der Nordwestpassage, einem langersehnten Seeweg zwischen Europa und Asien, der historisch als unpassierbar galt.

Arktisches Meereis wächst traditionell im nördlichen Winter und schrumpft im Sommer, aber die Rate, mit der es abnimmt, ist angestiegen, was die Satellitendaten seit 1978 bestätigen. Die CryoSat-Mission der ESA fügt jetzt die Eisdicke zu den Polkarten der Wissenschaftler hinzu.

Heute überwachen bestimmte Copernicus-Dienste die saisonale Eisdecke über den Hauptschiffsverkehrsrouten wie beispielsweise der Ostsee. Ungefähr die Hälfte kann in jedem Winter von Meereis bedeckt werden, was die mehr als 2000 Schiffe beeinträchtigt, die über 800 Millionen Tonnen Güter transportieren.

Das Gesicht der Tiefe

Unsere Ozeane bedecken 71 % der Erde und befinden sich in ständigem Fluss. Erst mit der Satellitenära konnten wir erkennen, wie sie sich ständig wandeln und sie auf verschiedene Arten kartieren.

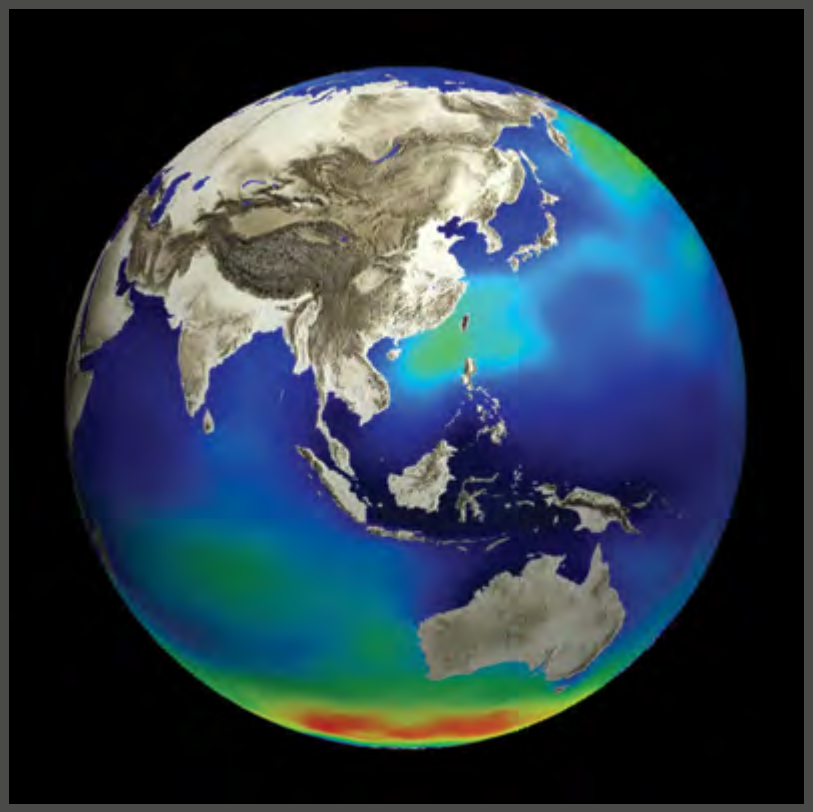
Satelliten zusammen mit Instrumenten vor Ort messen die Temperatur der Ozeane auf regionaler und globaler Basis. Die obersten zwei Meter der Ozeane speichern gleich viel Energie wie in der Atmosphäre vorhanden ist, während alle Ozeane zusammen mehr als tausend Mal diese Menge enthalten.

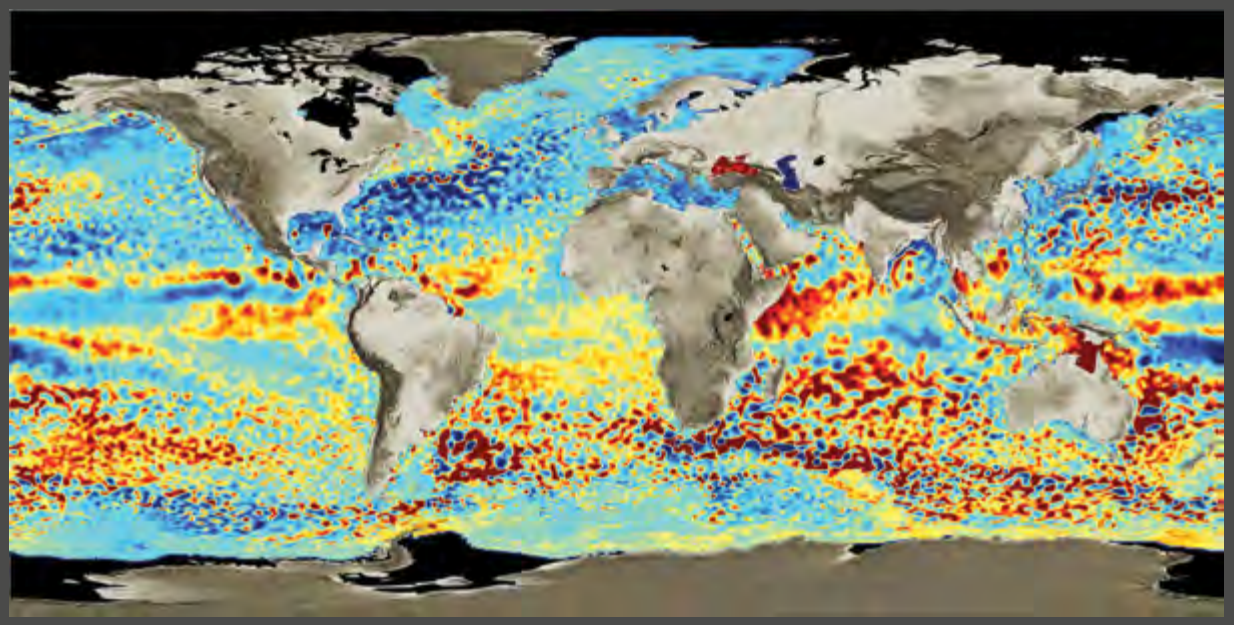
Wie Thermometer am Himmel nutzen die Weltraum-Radiometer die Infrarotwellenlängen zur Messung der Meeresoberflächentemperatur eines Quadratkilometers Ozean bis auf eine Genauigkeit von 0,2 °C (Hauptbild). Der Advanced Along-Track Scanning Radiometer von Envisat war eines der neuesten Beispiele, wobei eine noch verbesserte Version auf Sentinel-3 fliegen wird. Frühere Versionen flogen auf ERS-1 und ERS-2 der ESA mit, woraus verschiedene Vergleichsmessungen von 1991 bis 2012 existieren.

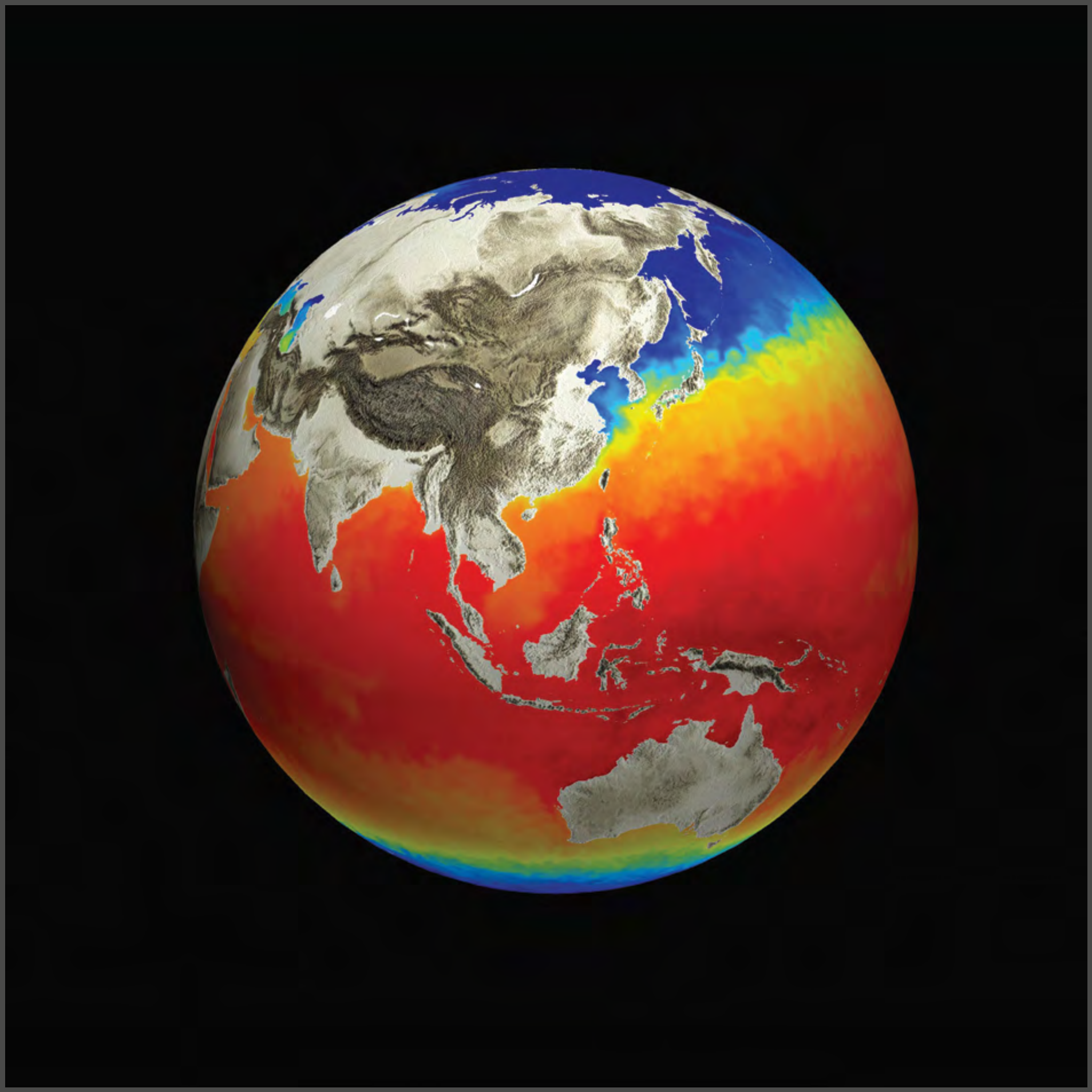
Die Meeresoberfläche selber ist eine instabile Schnittstelle zwischen Ozean und Luft, die Feuchtigkeit und Energie zwischen diesen beiden Welten austauscht. Aber die sich stetig wandelnden Bedingungen können kartiert werden. Radar-Höhenmesser in der Umlaufbahn senden tausende von Radarimpulsen pro Sekunde in Richtung Meer und die Zeit, die verstreicht, bis diese Signale reflektiert werden, ermöglicht es, die Wellenhöhe zu berechnen (oben). Und der Scatterometer, oder Streulichtmessgerät, kann die Windgeschwindigkeit und -richtung über dem Ozean messen.

Dieses Resultat verbessert unser Verständnis des Energietransferprozesses zwischen Ozean und Atmosphäre, was zukünftige Klimamodelle genauer machen wird. Zudem ermöglicht es die objektive Untersuchung der Möglichkeit, dass die maximale Wellenhöhe aufgrund des Klimawandels zunimmt. Die Radarhöhenmessung kann außerdem verwendet werden, um die langsame, aber stetige Zunahme des Meeresspiegels (unten) zu messen, die derzeit 3 mm pro Jahr beträgt, wobei dies regional stark variiert.

Der Copernicus Marine Service kombiniert Satellitenbeobachtungen mit raffinierten Zahlenmodellen der Meeresströmungen, um einige Vorhersagedienste für Anwendungen wie optimale Schiffsroutenplanung, Aquakultur und Fischereimanagement, Überwachung der Wasserqualität und -verschmutzung sowie Informationen für nationale und europäische Meteorologiedienste zu bieten.







Seegras

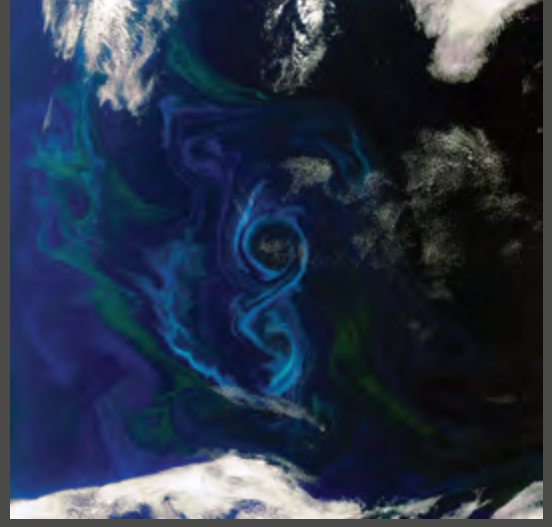
Blitz-blaue Phytoplanktonblüten schweben bei Irland im Nordatlantik, zu sehen auf diesem Envisat-Bild (gegenüber).

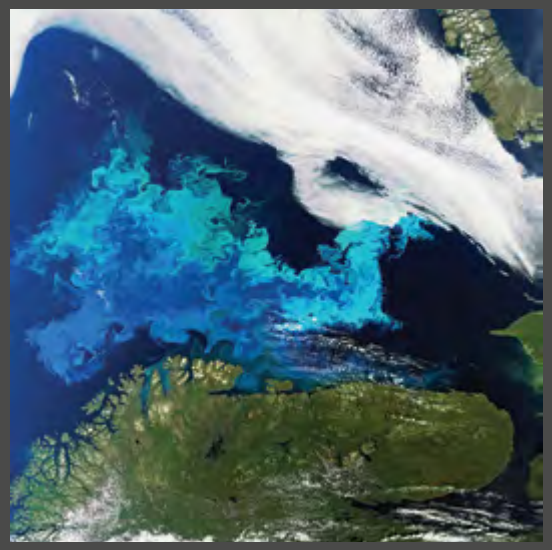
Phytoplankton, gemeinhin als Seegras bekannt, da es als Grundnahrungsmittel aller anderen Meereslebewesen dient, ist eine mikroskopisch kleine Meerespflanze, die frei auf oder an der Meeresoberfläche treibt. Er kann anorganische Stoffe wie Wasser, Stickstoff und Kohlenstoff in komplexe organische Materialien umwandeln. Mit der Fähigkeit, diese Stoffe zu verdauen, können sie so viel Kohlendioxid aus der Atmosphäre ziehen, wie dies die Pflanzen an Land tun.

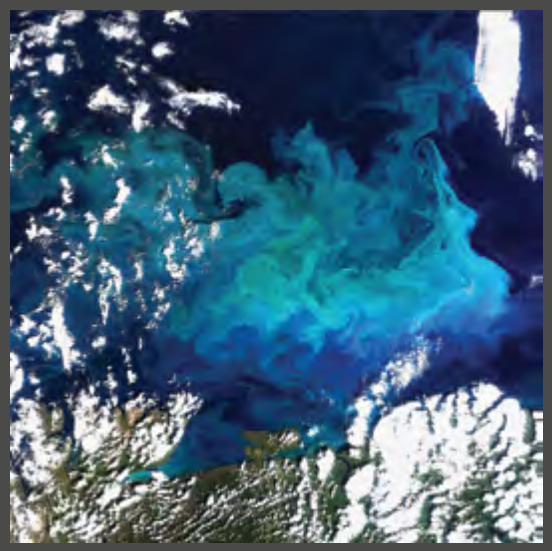
Während sie als Einzelne ganz klein sind, färbt das Chlorophyll, das sie für die Photosynthese nutzen, als Ganzes das Wasser, weshalb diese winzigen Organismen vom Weltall aus mit besonderen Meeresfarbensensoren, wie dem Envisat Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS), erkannt werden können. Solche Algenblüten kommen während des europäischen Sommers häufig vor, eine Reaktion auf das sich erwärmende Wasser und das Sonnenlicht.

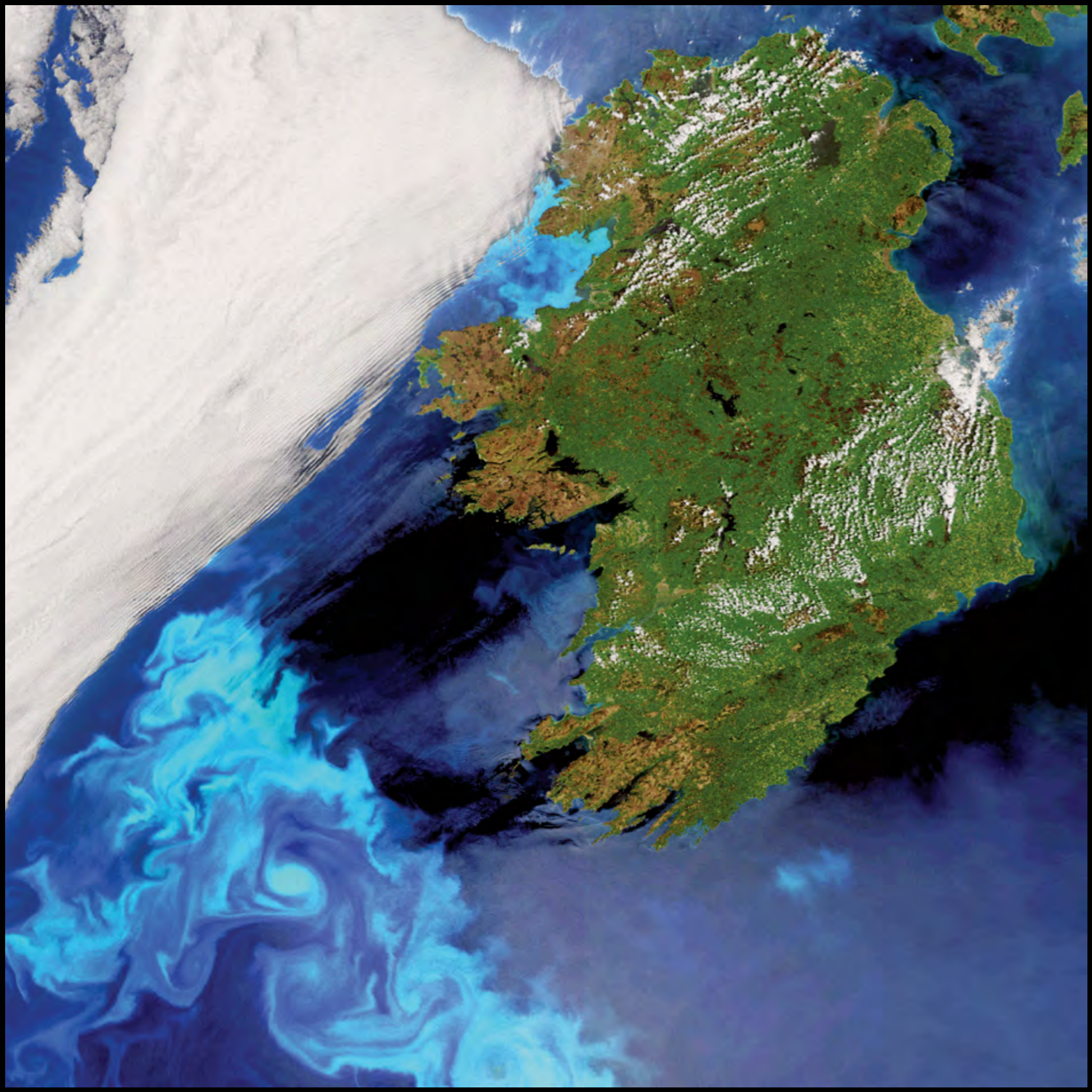
Die globale Kartierung der Chlorophyllkonzentration auf dem Meer ist wichtig, um den Klimawandel präzise vorhersagen zu können. Indem die Hälfte des Kohlendioxids absorbiert wird, das die Menschen in die Atmosphäre entlassen, hat das Phytoplankton den Klimawandel gebremst. Wie lange kann dieser Effekt allerdings noch anhalten?

Weitere Dienstleistungen werden mit diesen Beobachtungen zusammen mit den Temperatur-, Wind- und Wellendaten ebenfalls ermöglicht: Die Aquakultur profitiert von Warnungen vor Algenblüten oder gefährlichen Quellen.









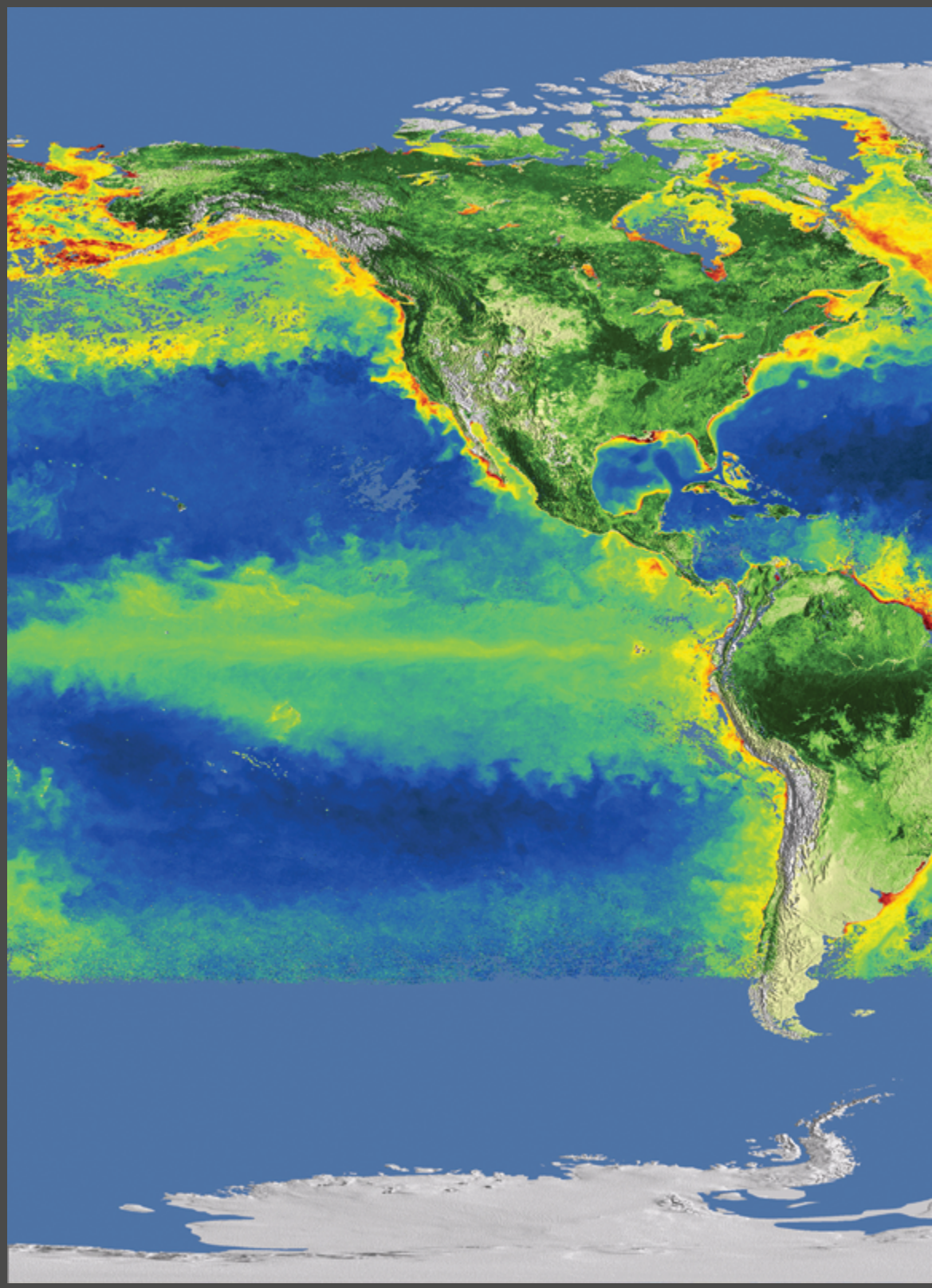
Atmender Planet

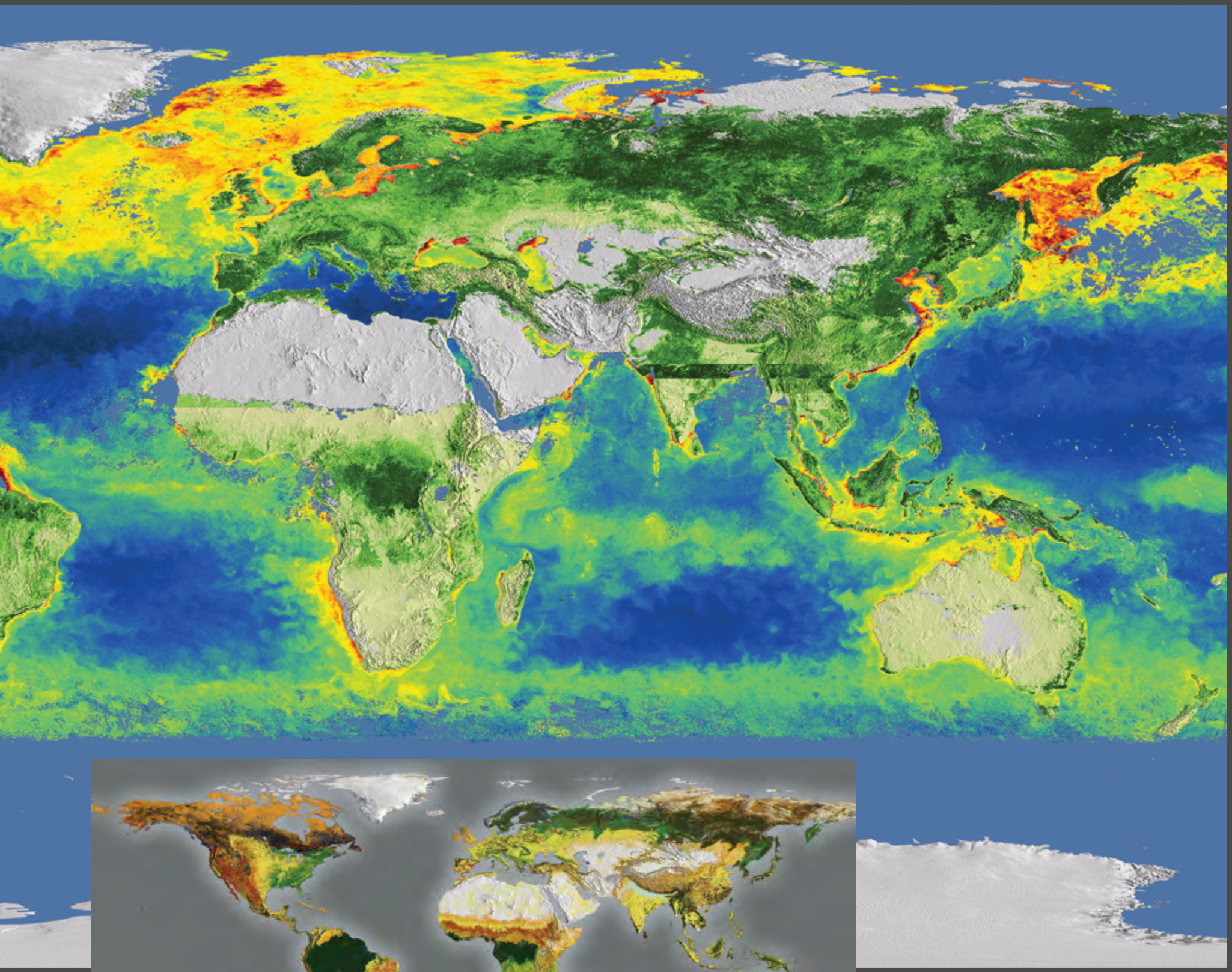
Aus den Satellitendaten kombiniert dieses Bild Informationen zu Blattflächen und Chlorophyll auf dem Land und Chlorophyllkonzentrationen auf dem Meer, um die Fotosynthese global sichtbar zu machen. Durch Fotosynthese absorbiert Chlorophyll die Energie, um Kohlendioxid und Wasser in Kohlenstoff und Sauerstoff zu verwandeln.

Die Erdoberfläche ist die Heimat des Menschen, aber auch eines Großteils der Flora und Fauna. Obwohl das Meer größer ist, macht das Land dennoch einen großen Teil aus: Wenn wir alle Landflächen zusammen nehmen und das Meer weglassen, erhalten wir einen Planeten, der leicht größer als der Mars ist. Der Copernicus Land Monitoring Service nutzt Satelliten und Bodendaten, um unsere Landoberfläche zu beobachten.

Anfänglich produzierte GlobCover der ESA eine globale Landnutzungskarte (unten rechts) mit einer drei Mal höheren Auflösung als frühere Satellitenkarten, basierend auf den Bodenbedeckungsklassen der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen. Ungefähr 20 Terabytes an Bildern wurden für diese Karte aufgewendet – eine Datenmenge, die ungefähr der von 20 Millionen Büchern entspricht.

Die Lehre, wie Lebenszyklen von Pflanzen von den saisonalen Klimaschwankungen abhängen, nennt sich Phänologie. Die ESA hat die Entwicklung eines satellitenbasierten Dienstes zur Phänologieüberwachung mit vorangetrieben. 2010 verwendete der UK Woodland Trust den Dienst, um eine dreiwöchige Verspätung des Frühlingsgrüns auf den britischen Inseln hervorzuheben, die vom kältesten Winter in 31 Jahren ausgelöst worden war.





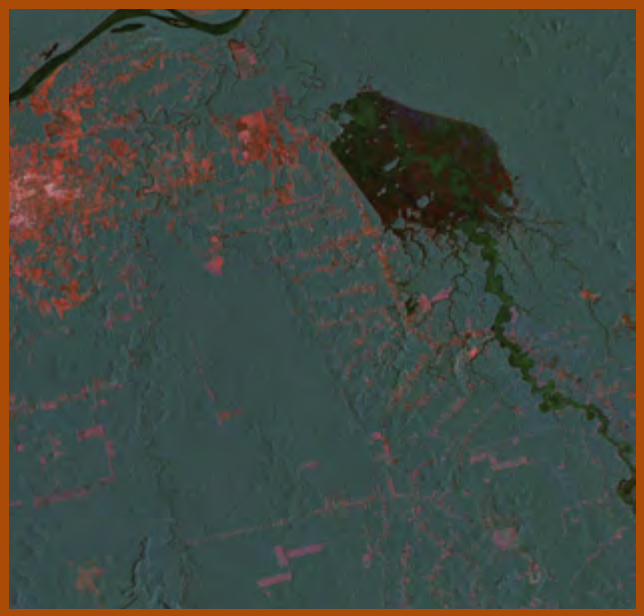
Schwindende Wälder

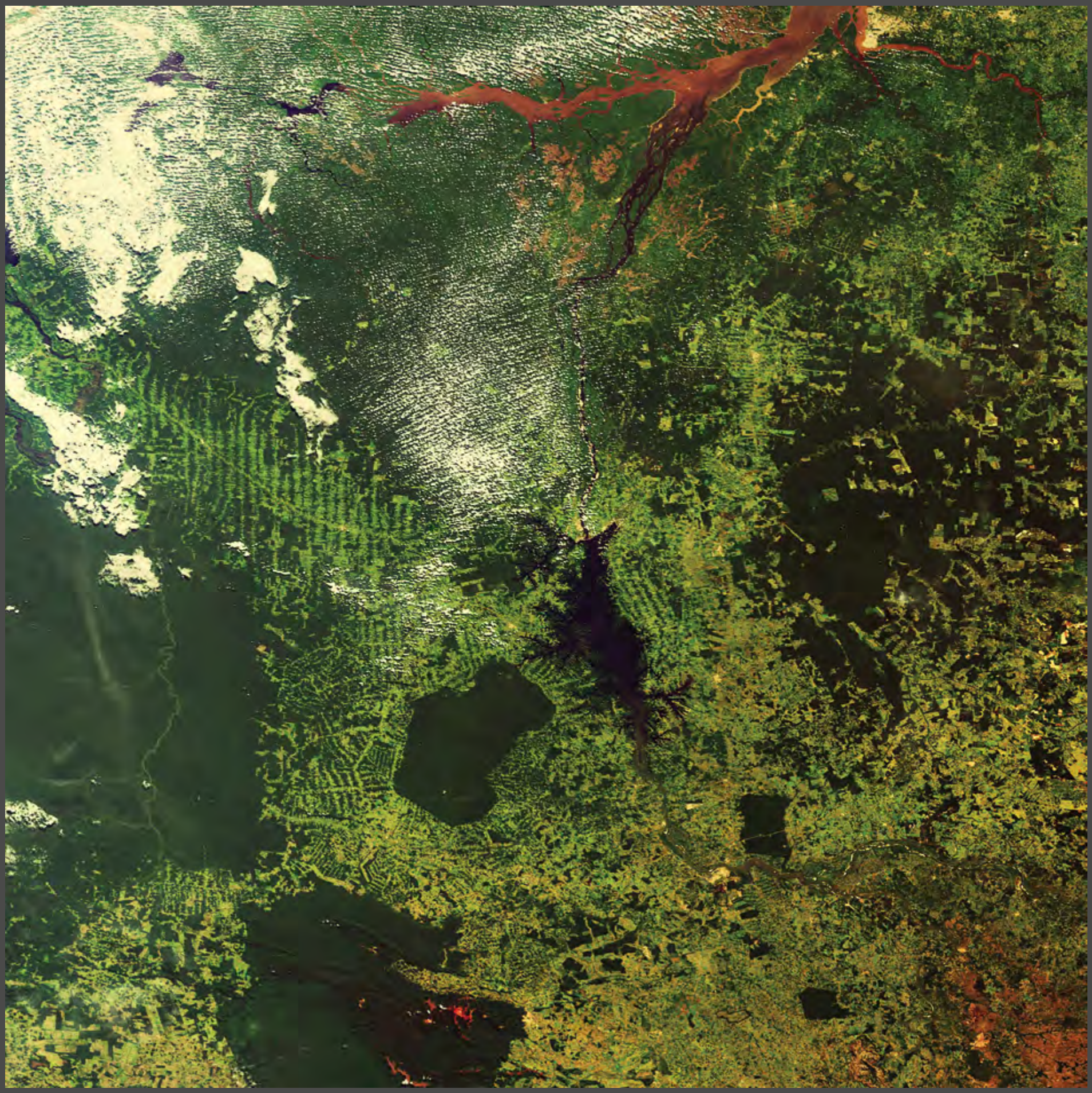
Die Abholzung vom Weltraum aus gesehen – hier der brasilianische Regenwald auf dem Bild von Envisat MERIS – zeigt ein klares Fischgrätenmuster, mit Linien die von einer Hauptstraße oder einem Flusssystem als Transportroute ausgehen. Der übrige Wald ist dunkelgrün mit hellgrünen Landwirtschaftsflächen, die früher ebenfalls von Regenwald bedeckt waren.

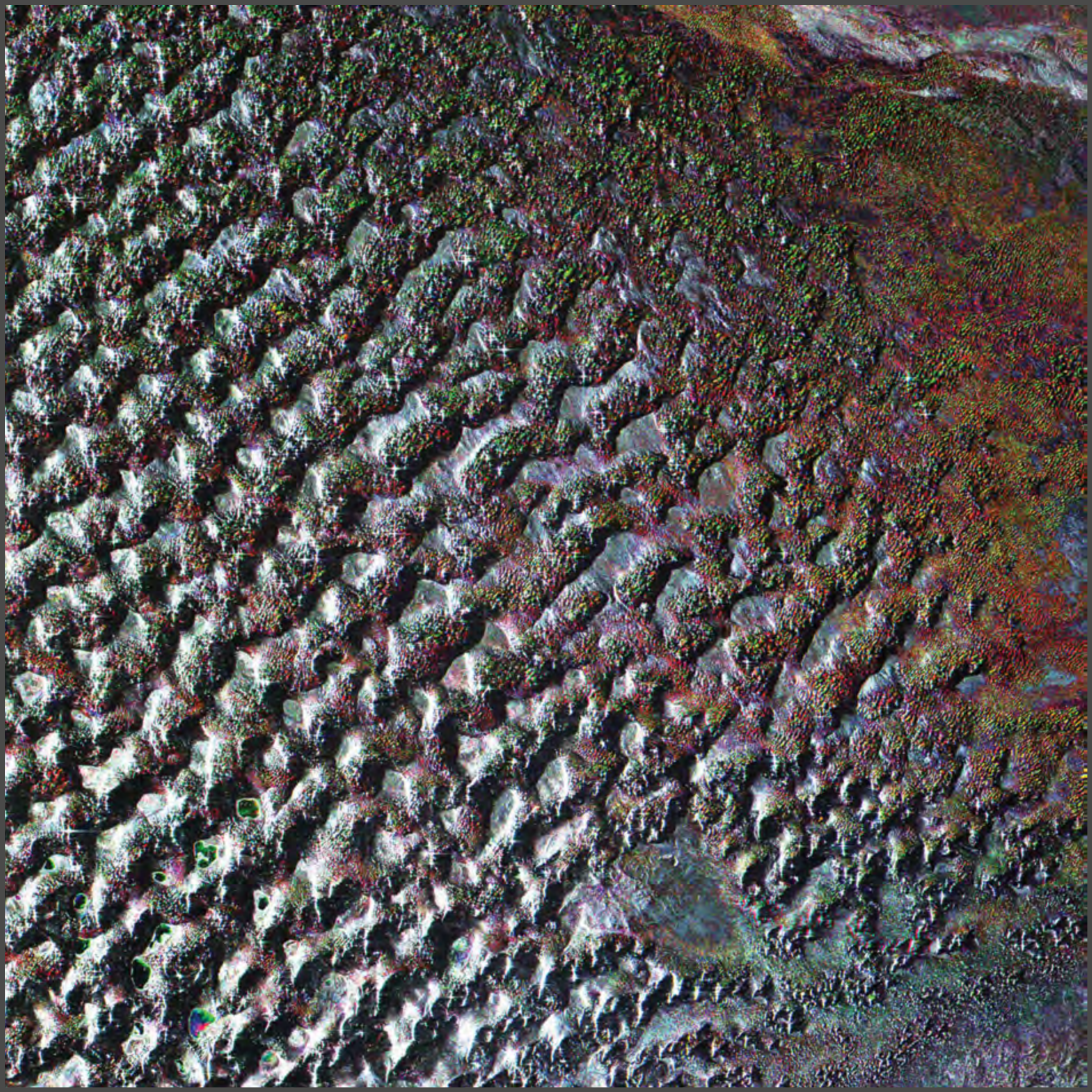
Das vor Sedimenten braune Gewässer auf dem oberen Bild aus dem Jahr 2008 ist der Fluss Pará, der Südarm in der Mündung des Amazonas. Die große dunkle Fläche in der Mitte ist der Stausee, der durch den Tucurui-Damm am Fluss Tocantins entstanden ist, was zu einer Überflutung von ungefähr 2430 Quadratkilometern Waldgebiet geführt hat.

Die ESA hat die Waldüberwachung als Teil von Copernicus begonnen, um satellitenbasierte Informationsgeräte für das Waldmanagement zu entwickeln. Die Abholzung der tropischen Regenwälder ist die zweitgrößte Quelle von Treibhausgasen nach der Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Das REDD-Programm der UNO (Reduktion von Emissionen aus Entwaldung und Schädigung der Wälder) ist ein globales Abkommen, bei dem reichere Länder Ärmere dafür bezahlen, die Regenwälder nicht abzuholzen, als Anerkennung des Wertes dieser Kohlenstoffsenken sowie vieler weiterer wertvoller Umweltdienste, die diese leisten. Um dieses Prinzip durchzuführen, müssen die Wälder weltweit überwacht werden. Nur Satelliten können dies auf eine praktische und wirtschaftlich lohnende Weise tun. Brasilien selber ist einer der Inspiratoren für REDD, nachdem es die Abholzung der Regenwälder im letzten Jahrzehnt auf die Hälfte reduzieren konnte, dies auch dank der Satellitendaten.

Die Anstrengung der ESA zur Überwachung der Abholzung begann mit den ERS-Satelliten. Das Bild zeigt Nordwestbrasilien mit klaren Abholzungsbereichen in Rot und unberührten Flächen in Grau (Flüsse und Teiche erscheinen schwarz).







Das steinerne Herz Asiens

Das Envisat-Radarbild zeigt die steinige Oberfläche der Wüste Gobi, die sich über große Flächen der Mongolischen Volksrepublik und der autonomen mongolischen Region Chinas erstreckt. Sie dient perfekt als Gegenbeispiel zur allgemeinen Vorstellung der Sandwüste, denn die Wüste Gobi ist ganz aus Stein.

Mehrere kleine Seen werden von Grundwasser gespeist und sind auf diesem Bild sichtbar. Archäologische Daten zeigen, dass diese Seen seit langer Zeit existieren, denn schon in der Steinzeit lebten an den Ufern hier Menschen.

Eine Stärke der Radarbilder ist, dass verschiedene Aufnahmen eines gleichen Ortes kombiniert werden können, um die Änderungen mit der Zeit sichtbar zu machen, wie dies das Bild aus zeitlich verschiedenen Aufnahmen der Insel Qeschm in der Straße von Hormus im Iran zeigt. Obwohl sie auf einer der verkehrsreichsten Schifffahrtsrouten liegt, befindet sich auf der Insel Qeschm das Hara Biosphärenreservat mit dem größten Mangrovenwald des Persischen Golfes. Das Netz aus Wald und Gezeitenflächen kann hier klar zwischen der Insel Qeschm und dem Land erkannt werden, wobei die Ausdehnung sich saisonal verändert. Die Farben unterstreichen die Flächenveränderungen zwischen den Aufnahmen.

Kein Rauch ohne Feuer

Rauch von Waldbränden bedeckt Moskau, hier auf einem Bild der MERIS-Kamera auf Envisat. 2010 litt Zentralrussland und die Region Moskau unter dem heißesten Juli der Geschichte. Rekordtemperaturen über 35 °C schafften ideale Bedingungen für Feuerausbrüche, es wurden über 500 davon gemeldet.

Auf diesem Bild sind mehrere große Rauchwolken von brennendem Torf und Waldbränden abgebildet, die eine große Fläche im Osten Moskaus bedecken. Die Stadt selber ist unten links zu sehen. Die Rauchwolken dehnten sich über mehrere hundert Kilometer aus, was die städtische Luftverschmutzung ansteigen ließ und zur Schließung der regionalen Flughäfen führte, da die Sicht abnahm.

Große Feuer sind vom Weltraum aus sichtbar, denn Satelliten erkennen nicht nur den Rauch von Großbränden, sondern auch die schwarzen Narben, die darauf folgen und sogar die Feuer selber, die bei Infrarotwellenlänge als Hotspots sichtbar gemacht werden. Die Feuerwehr und die Zivilschutzbehörden nutzen zunehmend Satellitenbilder, um solche Feuer zu bekämpfen.

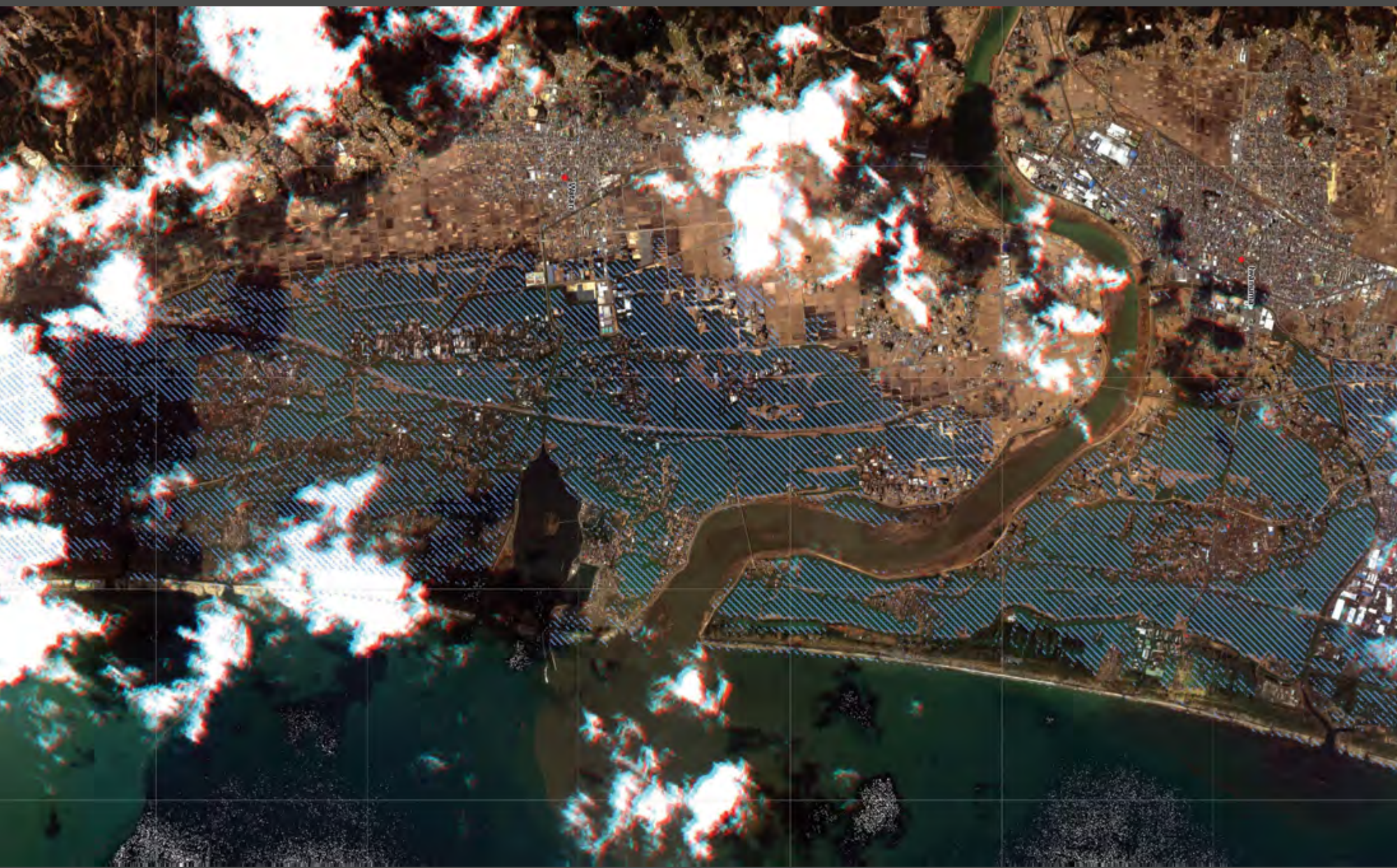
Satelliten können auch Gasflammen von Rohölanlagen auf der ganzen Welt erkennen, was eine Schätzung ihrer Auswirkung auf die Kohlendioxidemissionen zulässt. Die ESA hat ein Pilotprojekt geleitet, um die Überwachungstechniken zu demonstrieren.

Tsunamiverwüstung

Diese Vorher-Nachher-Satellitenkarte für die Rettungsteams zeigt die zerstörende Wirkung des Tsunamis 2011 auf die Nordwestküste Japans. Sie wurde unter der International Charter on Space and Major Disasters erstellt, deren zugehörige Raumfahrorganisationen der Aufnahme von Bildern über Katastrophengebieten den Vorrang geben, um die Koordinierung und Organisation der Hilfsmaßnahmen zu vereinfachen. Die ESA ist ein Gründungsmitglied und wichtiger Beitragsleistender dieser Charta.

Die Charta, die heute fast schon 20 Jahre alt ist, entstand nach einer Katastrophe. Als der Hurrikan Mitch tausende Menschenleben kostete, als er 1998 durch Mittelamerika zog, bemühten sich die ESA und die französische Raumfahrtbehörde CNES darum, genaue Schadensbilder für die Rettungsteams aufzunehmen.

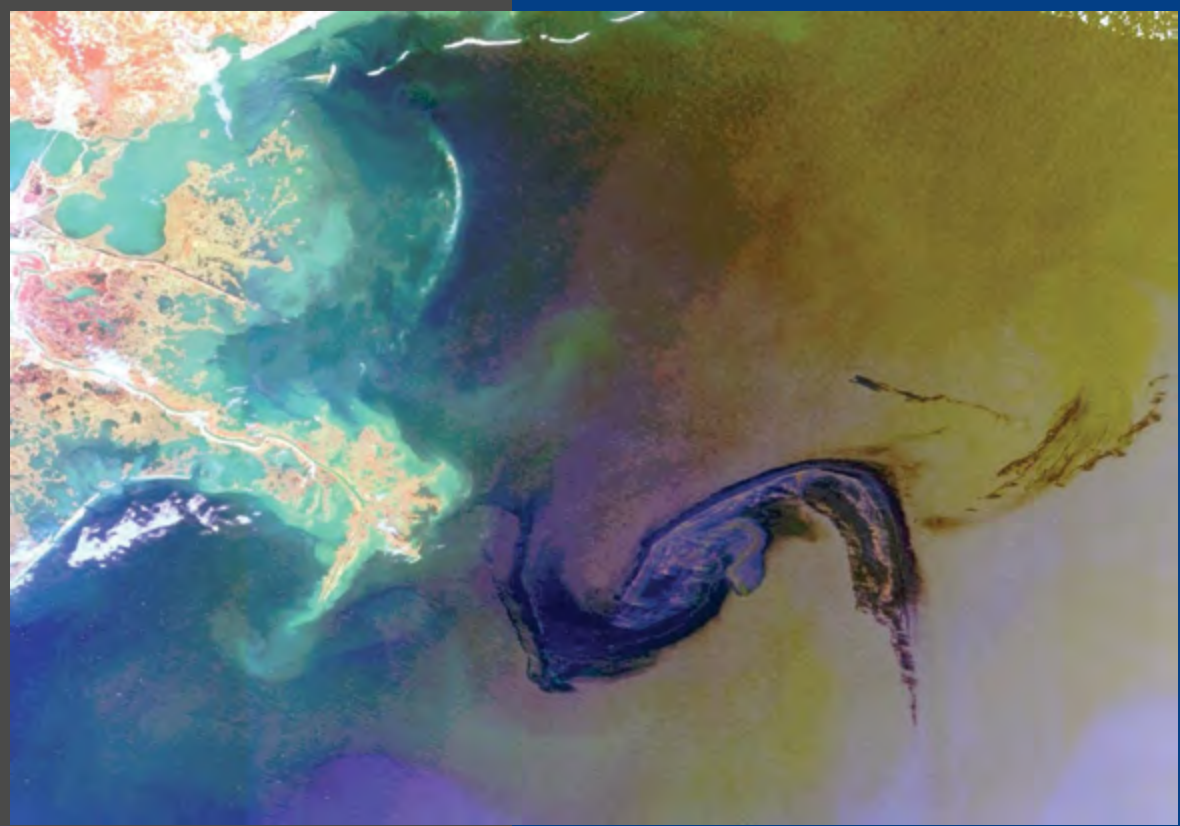
Die Erfahrung inspirierte die beiden Agenturen dazu, die zukünftige Kooperation zu formalisieren. Die daraus entstandene Charta trat im Oktober 2000 in Kraft, als ESA und CNES von der Kanadischen Weltraumagentur unterstützt wurden. Die erste Aktivierung erfolgte schon einen Monat später nach einem Erdrutsch in Slowenien. Bis jetzt wurde die Charta über 300 Mal aktiviert und 14 Agenturen weltweit sind ihr als Mitglieder beigetreten. Sie wird fast alle zwei Wochen aktiviert.

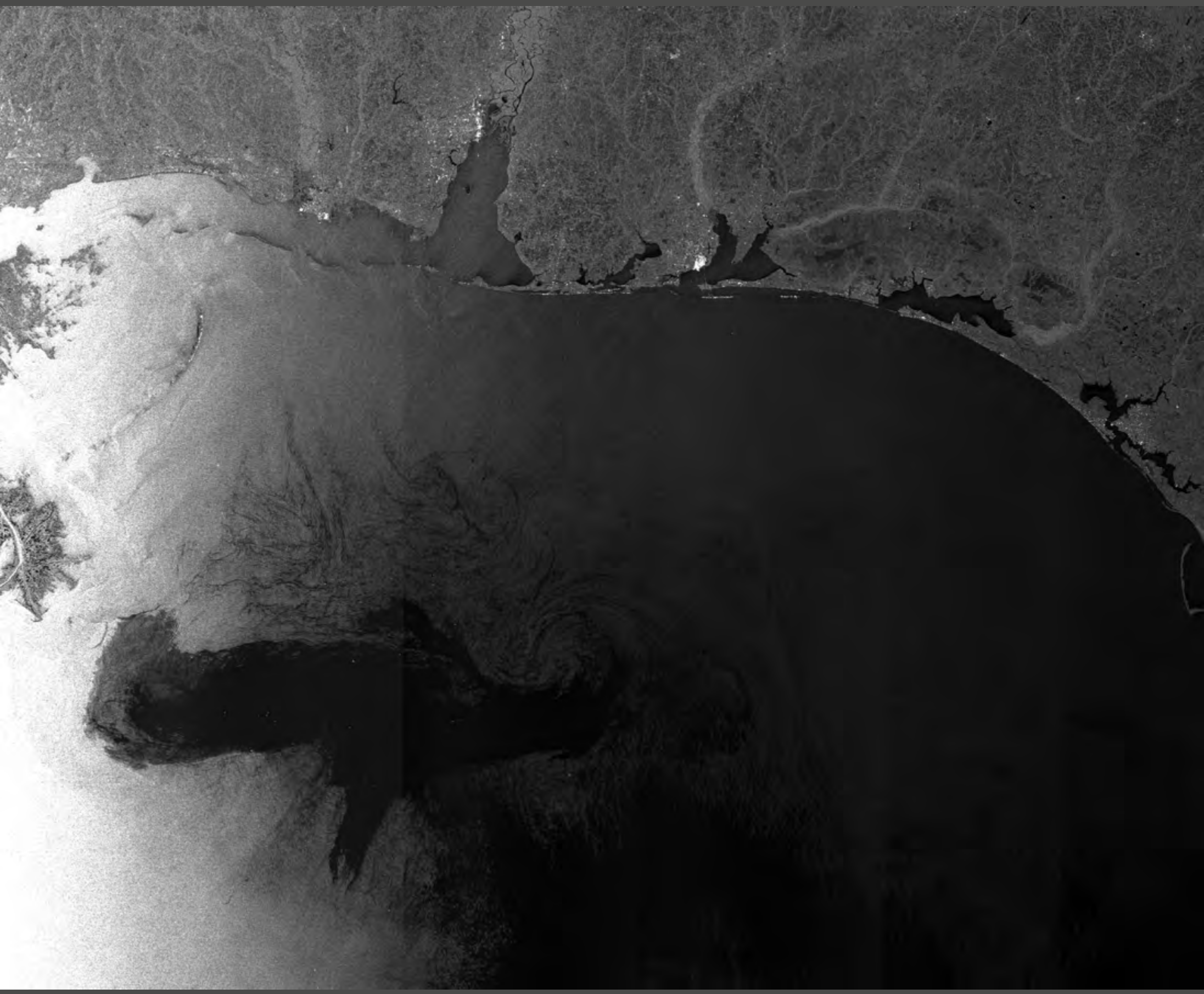

Wasco
Delano

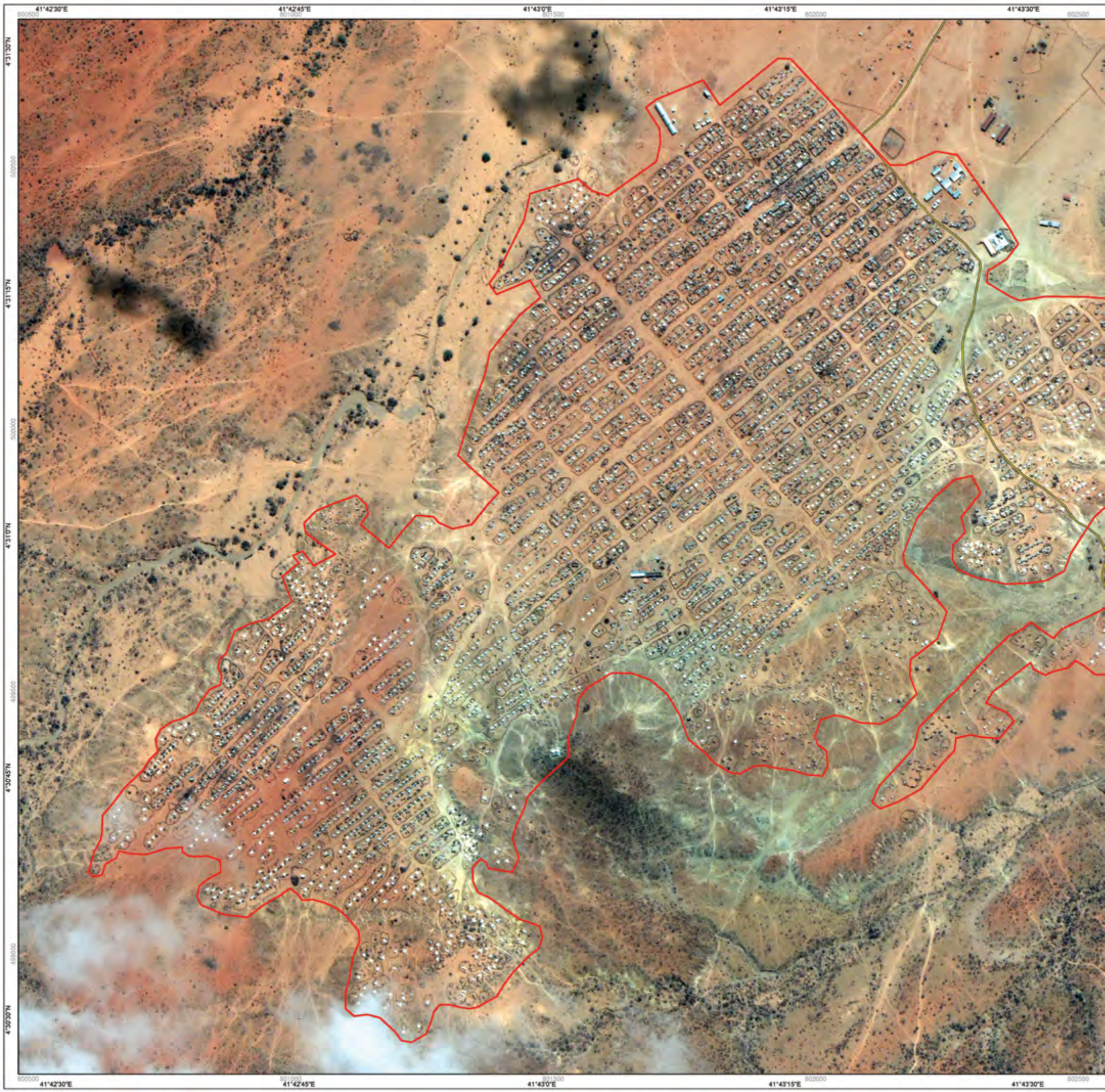
Unruhiges Gewässer

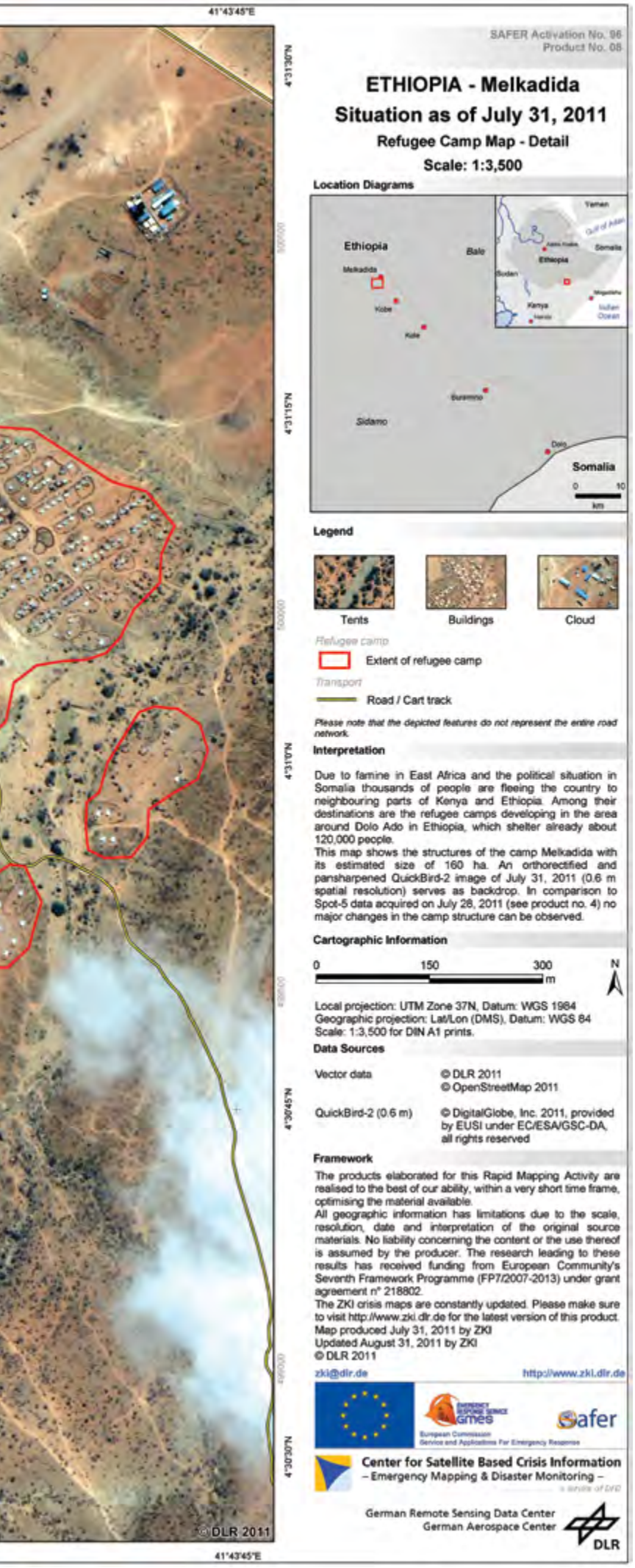
Die Ölpest im Golf von Mexiko 2010 aus doppelter Envisat-Ansicht: unten in sichtbarem Licht und rechts in Radarwellenlänge. Das Öl auf dem Wasser dämpft die Wellen und sieht deshalb dunkler aus als das umliegende Wasser, das als grauer Wirbel in der Mitte des Radarbilds sichtbar ist.

Die Ölplattform Deepwater Horizon explodierte am 22. April 2010 im Golf von Mexiko. Dabei starben 11 Menschen und unzählige Tonnen Öl liefen aus und wurden in Richtung Louisiana und Mississippi geschwemmt. Die International Charter on Space and Major Disasters wurde auf Anfrage der US-Küstenwache aktiviert und eine Vielzahl der erdbeobachtenden Satelliten, inklusive Envisat der ESA, sammelten Daten zur Ölpest, wie diese sich langsam der Küste näherte. Die Envisat-Bilder wurden von der US-amerikanischen Wetter- und Ozeanografiebehörde NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) verwendet, um das Fortschreiten der Ölpest im Ringstrom des Golfs von Mexikos zu verfolgen.






41°42'30"E
41°42'45"E
41°43'0"E
41°43'15"E
41°43'30"E
4°31'30"N
4°31'15"N
4°31'0"N
4°30'45"N
4°30'30"N



Zufluchtsort

Einzelne Gebäude und Zelte können auf dieser Satellitenkarte des äthiopischen Flüchtlingslagers Melkadida erkannt werden, dem Zuhause von tausenden von Menschen, die vor der Hungersnot und dem Konflikt in Südsomalia geflüchtet waren. Die Karte wurde genutzt, um eine anfängliche Bestandsaufnahme zu erstellen: 3076 Zelte und Gebäudestrukturen, 15 fixe Gebäude: Daraus konnte eine Bevölkerung von 15.000 geschätzt werden.

Das Bild wurde am 31. Juli 2011 vom QuickBird-2-Satelliten aufgenommen und vom DLR, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, für Satellitenbasierte Kriseninformationen so schnell wie möglich in eine Karte umgewandelt, um den humanitären Organisationen eine Grundlage zu bieten. Unterstützt wurden sie vom Dienst der europäischen Kommission, dem Service and Applications for Emergency Response (SAFER). Der Krisenmanagementdienst SAFER verstärkt die europäische Kapazität, auf Notfallsituationen wie Feuer, Überschwemmungen, Erdbeben, Vulkanausbrüche, Erdrutsche und humanitäre Krisen adäquat reagieren zu können, indem schnell Karten zur Verfügung stehen. Solche Karten funktionieren als Organisationshilfen für das Krisenmanagement und sind für das Bodenpersonal leicht verständlich. Automatisches Geotagging solcher Karten – entwickelt durch ein von der ESA geleitetes Projekt – ermöglicht es, elektronische Versionen in die Fotoansichten der Situation am Boden zu integrieren.

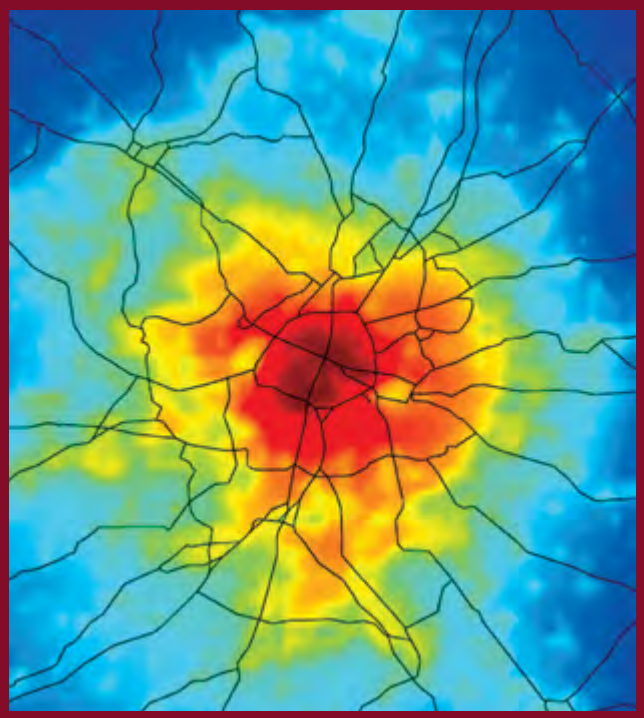
Urbaner Planet

Paris ist mit 10 Millionen Menschen einer der größten europäischen Ballungsräume. Auf diesem Envisat-Bild glitzert und glänzt die Stadt. Die große Anzahl der geometrischen Gebäude und Oberflächen reflektieren die Radarsignale hell zurück ins All.

Unsere Städte, Ansammlungen von Menschen, Eigentum und Wohlstand, wachsen schneller denn je, wobei jetzt die Hälfte der weltweiten Bevölkerung in urbanen Zentren wohnt. Auch ungefähr 70 % aller Europäer zählen dazu. Die weltweite Stadtbevölkerung wächst vier Mal schneller als die ländliche Bevölkerung, woraus errechnet wird, dass 2020 zwei Drittel der Weltbevölkerung in Städten leben wird. Neun Zehntel dieses Wachstums findet in den Entwicklungsländern statt, wobei Afrika mit 5 % pro Jahr die schnellste Wachstumsrate urbaner Ausdehnung aufweist.

Das Wachstum muss überwacht werden, um sicherzustellen, dass es nachhaltig geschieht, die Umweltressourcen nicht zerstört und unsere Lebensqualität und Sicherheit nicht beeinträchtigt wird. Die reine Größe der Städte kann es schwierig machen, dies durchzuführen, zumindest von der Erde aus. Satelliten können diese zusätzliche Dimension liefern und die vor Ort erhobenen Daten für die Behörden zusammenstellen, um daraus ein angemessenes Stadtmanagement zu erstellen.

Unten ist ersichtlich, wie dichte Ballungsräume das Klima ebenfalls beeinflussen. Die Temperaturkarte zeigt das Zentrum von Paris als urbane Hitzeinsel, mehrere Grade wärmer als das umgebende Land.



Versinkende Stadt

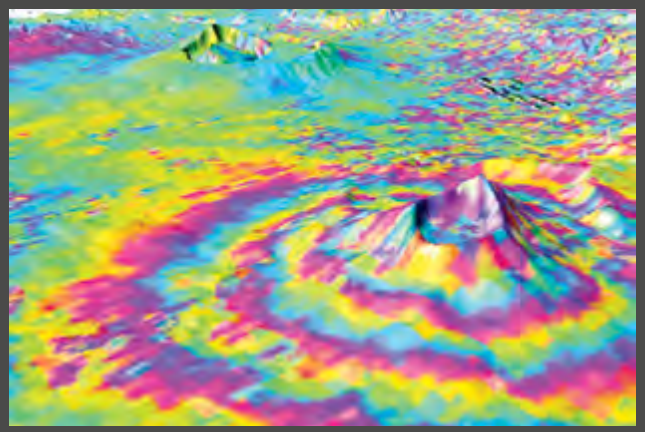
Venedig versinkt langsam im Wasser, wie es hier auf dem Ikonos-Satellitenbild zu sehen ist. Die ESA unterstützt den Ikonos-Satelliten der USA als Drittmission, was bedeutet, dass die Agentur die europäische Multimissions-Bodeninfrastruktur und das Fachwissen nutzt, um die Daten des Satelliten zu verarbeiten und an eine breitere wissenschaftliche Gemeinschaft zu verbreiten. Dieses Hauptbild mit separaten Satelliten-Radardaten des berühmten Markusplatzes zeigt die Landveränderungen aufgrund der Grundwassergewinnung. Solche Informationen helfen den Planern, die Maßnahmen zum Strukturschutz auf jene Orte zu konzentrieren, an denen es am meisten nötig ist. Die Weltraumüberwachung zeigt eine durchschnittliche Absenkung von 2 mm pro Jahr, zusammen mit den 2 mm Anstieg in der umgebenden Lagune. Eine neue Art Hochwasserschutzmaßnahmen wird 2014 fertig gestellt sein, um die Situation zu stabilisieren.

Die Satellitendaten können die städtischen Umgebungen mit einer Genauigkeit charakterisieren, wie dies vom Boden aus einfach nicht möglich ist. Durch die Kombination verschiedener Radarbilder des gleichen Ortes können Satellitenbilder Bodenbewegungen messen, die so langsam von statten gehen, wie Fingernägel wachsen. Danach besteht wie bei Fehlersuchbildern die Aufgabe darin, den Unterschied zu erkennen: Jegliche Veränderungen zwischen zwei Bildern weisen auf klare Interferenzen hin, weshalb diese Bilder Radar-Interferogramme mit synthetischer Apertur genannt werden, kurz InSAR.

Die Haupteinschränkung ist, dass die benötigten kleinen Oberflächen, die eine Landschaft bilden, Langzeitstreuer genannt, zwischen den verschiedenen Aufnahmen am gleichen Ort bleiben. Wachsende Vegetation, vom Wind umhergeblasene Blätter oder Regenwasser, das in die Erde eindringt, kann dies schon verhindern.

Aber dennoch wird InSAR für die Kartierung absinkender Städte und Küsten (Thema bestimmter Copernicus-Dienste) verwendet, oder um die langsame seismische „Atmung" von Vulkanen und die tektonischen Bewegungen zu verfolgen.

Es wird ebenfalls untersucht, ob InSAR die Nutzung der Öl- und Gasreserven im Boden verfolgen kann, indem die kleinsten Bewegungen an der Oberfläche überwacht werden und analog dazu auch die Überwachung der Kohlenstoffabscheidung und -speicherung innerhalb leerer geologischer Reservoirs möglich ist.



Landabsenkung in Millimetern pro Jahr
−5
0
+5

Feldermosaik

Bauern überwachen ihre Felder im Allgemeinen sehr genau, aber dieses Ikonos-Bild der Felder südlich von Würzburg in Deutschland ist ein Beispiel der äußerst detaillierten Bildgebungsverfahren, die aus der Umlaufbahn die Präzisionslandwirtschaft möglich machen.

Die Satellitenüberwachung wird in der Landwirtschaft auf verschiedenen Ebenen angewendet. Copernicus beinhaltet ebenfalls ein Element für die Nahrungsmittelversorgung, das die Ernten auf regionaler Ebene in Afrika südlich der Sahara überwacht, um ein Frühwarnsystem bei Nahrungsmittelknappheit auszulösen. Aber für die Präzisionslandwirtschaft ist ein Bildgebungsverfahren nötig, das eine Auflösung hat, bei der die einzelnen Felder oder sogar noch kleinere Einheiten sichtbar sind.

Satelliten sammeln die Informationen zum Potential des Bodens, wobei Beobachtungen über mehrere Jahre die Variationen beim Wachstum der Ernten anhand der Bodenveränderungen sichtbar machen können, angefangen bei der Aussaat. Diese Resultate werden mit zusätzlichen Informationen ergänzt, wie beispielsweise Wetterbedingungen und Bodenfeuchtigkeit, um den Bauern zu helfen, ihre Ernten zu verbessern, wie beispielsweise gewisse Felder für bestimmtes Saatgut zu verwenden und die nötigen Mengen an Dünger und Pestizid zu bestimmen. Die ESA hat eine Pilotanwendung entworfen, bei der Satellitendaten verwendet werden, um Biolandwirtschaft zu zertifizieren. Tests zur Unterscheidung von Bio und konventionellen Feldern erreichen eine Genauigkeit von 80–100 %.

Die Effizienz der Präzisionslandwirtschaft wird mit Satellitennavigationsdaten erhöht, da die präzisen geographischen Koordinaten an automatische Spritzgeräte und andere Landwirtschaftsmaschinen weitergeleitet werden. Die TalkingFields-Initiative (unten) der ESA ist Teil der Förderung integrierter Anwendungen der Agentur, bei der die verschiedenen weltraumbasierten Bestandteile kombiniert werden.

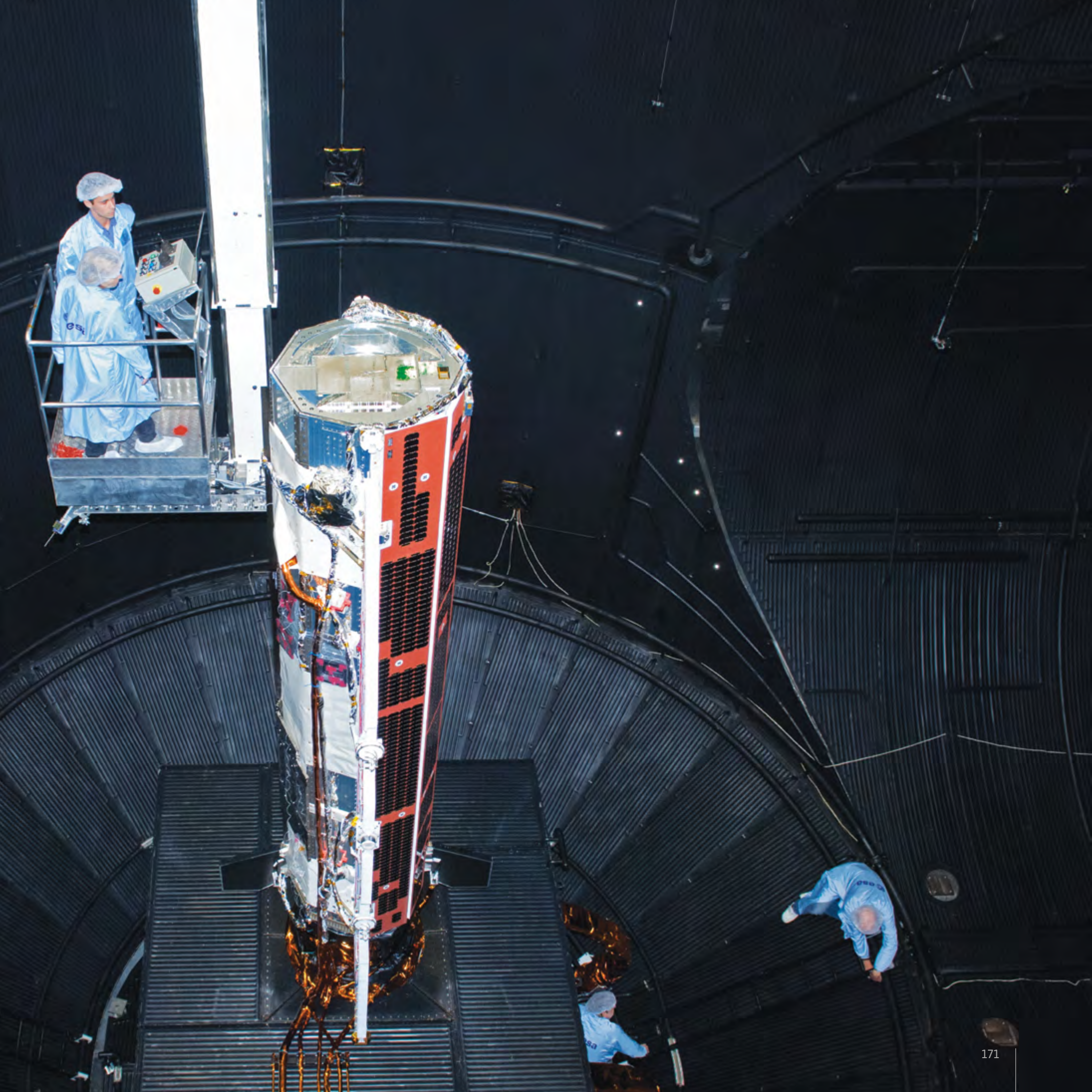
Die neue Generation

Schlank und aerodynamisch, die ESA-Mission zur Messung der Gravitation und des stationären Zustandes der Ozeanzirkulation GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) hier bei Tests im ESTEC-Technikzentrum der ESA: die erste der neuen Art von Erdbeobachtungssatelliten, der Earth Explorers, die 2009 ins All flog.

Während die Sentinel-Satelliten der Agentur die Umweltdienste unterstützen, sind die Earth Explorer Forschungsmissionen, von denen jede einzelne davon darauf abzielt, das wissenschaftliche Verständnis bestimmter Elemente des Systems Erde zu verbessern. Mit der globalen Umweltkrise, der größten, einzelnen Herausforderung der Menschheit in diesem Jahrhundert, werden die Earth Explorer dazu beitragen, dass wir unseren Planeten besser verstehen.

Form folgt Funktion und GOCE war so entworfen, dass seine Empfindlichkeit für die Erdanziehung maximiert wurde, indem er auf nur 255 km Höhe kreiste, viel näher als alle anderen Satelliten.

Es war eine Erdbeobachtungsmission, bei der es nicht um die Beobachtung ging, sondern darum, die Veränderungen der Erdanziehung aufzuzeichnen, dies mittels eines modernsten Gradiometers, der im Maßstab 1 zu einer Milliarde genau war. Mit seinen Flossen konnte er die Restturbulenzen überwinden und der widerstandsfreie Ionenantrieb konnte mögliches Flattern kompensieren, sodass GOCEs Umlaufbahn nur von der Gravitation beeinflusst war. Die erfolgreiche Mission endete 2013, aber die Messungen werden noch mehrere Jahre analysiert werden.



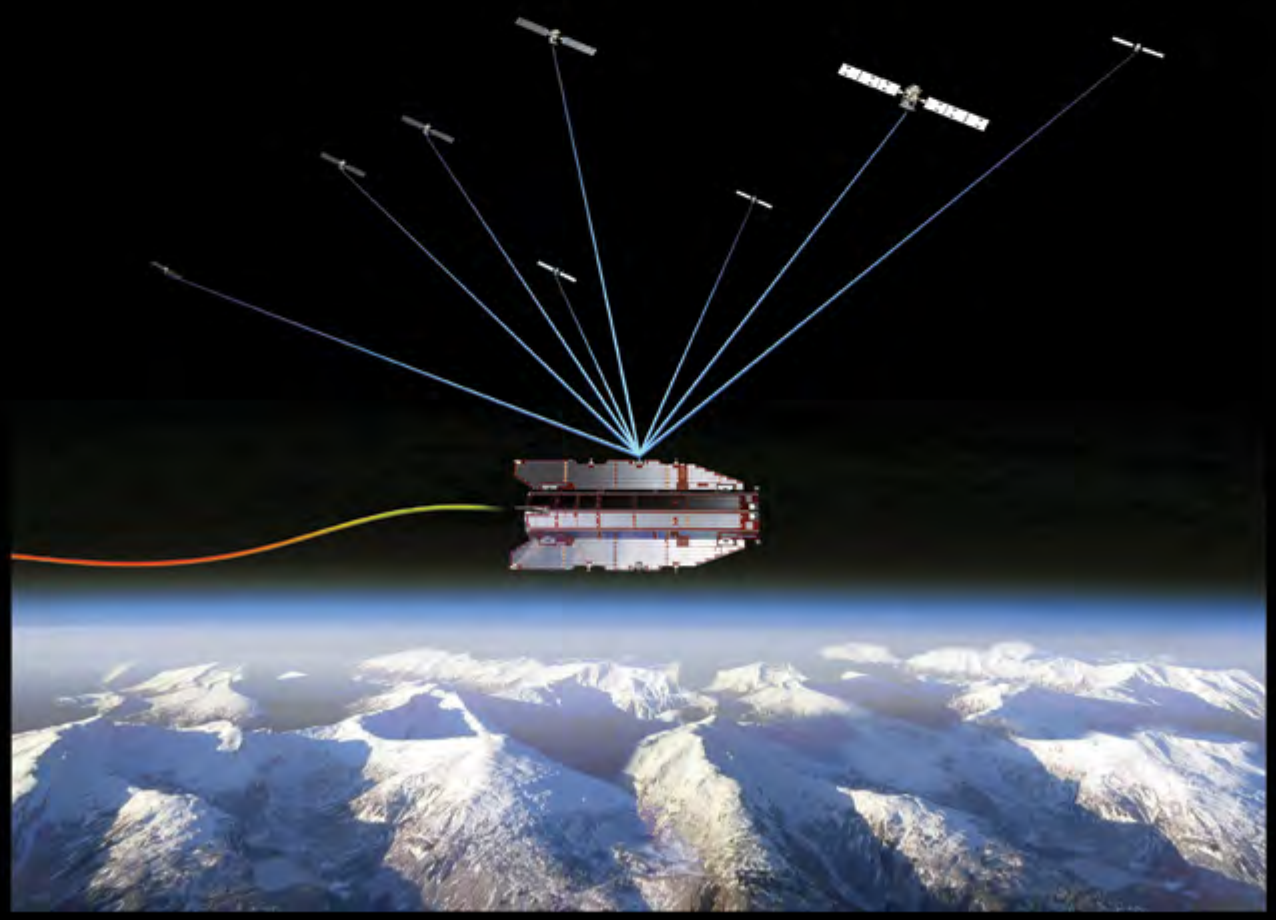
Karte der weltweiten Schwerkraft

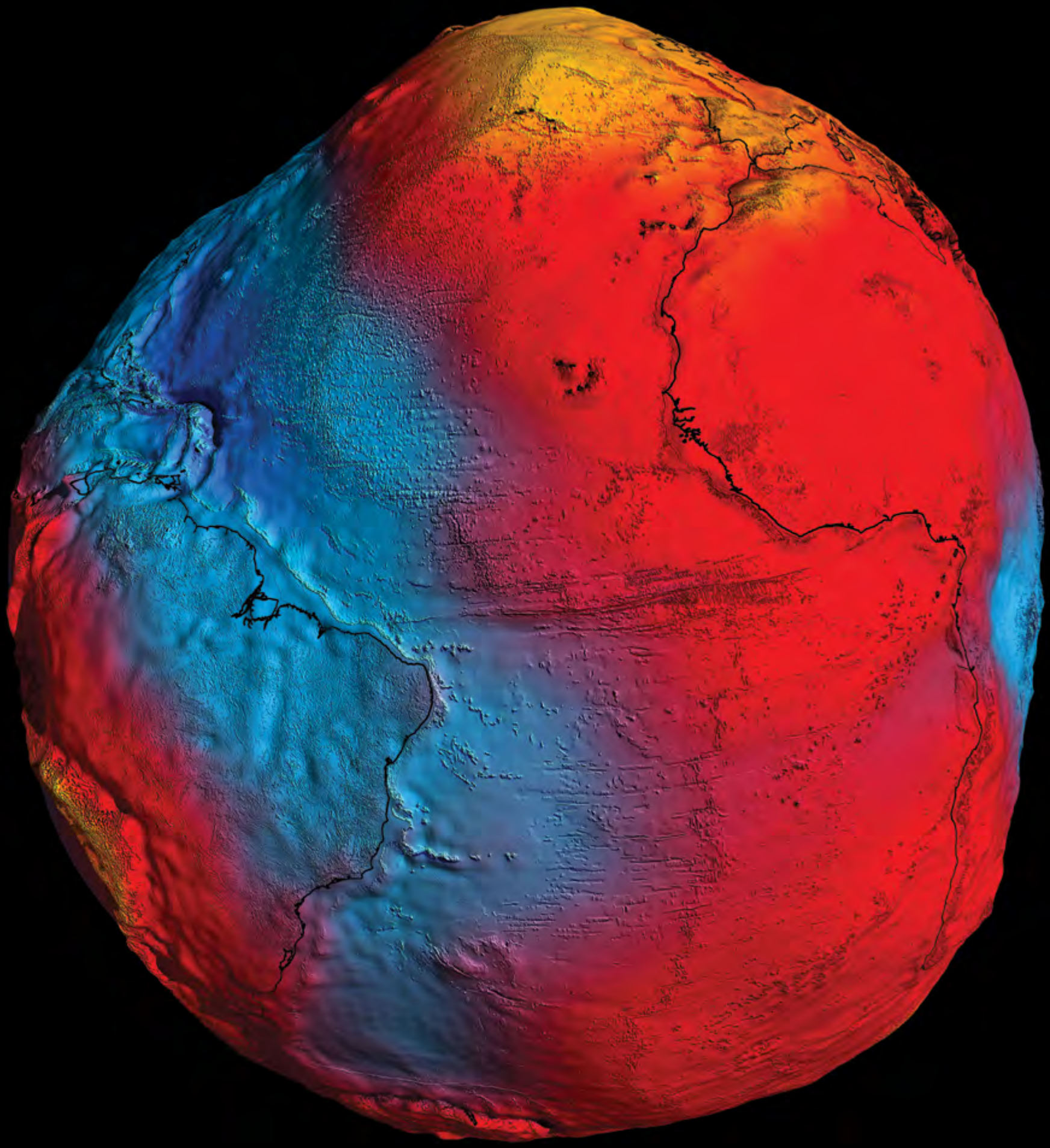
Stellen Sie sich vor, am Strand zu stehen, mit den Fingern zu schnipsen und das Meer würde ruhig werden. Vor Ihnen läge plötzlich eine riesige Wasserfläche ohne Strömungen oder kleinstem Kräuseln, die nicht von Wind, Gezeiten oder der Erdrotation beeinflusst wäre. Nur die Gravitation hätte jetzt noch etwas zu sagen.

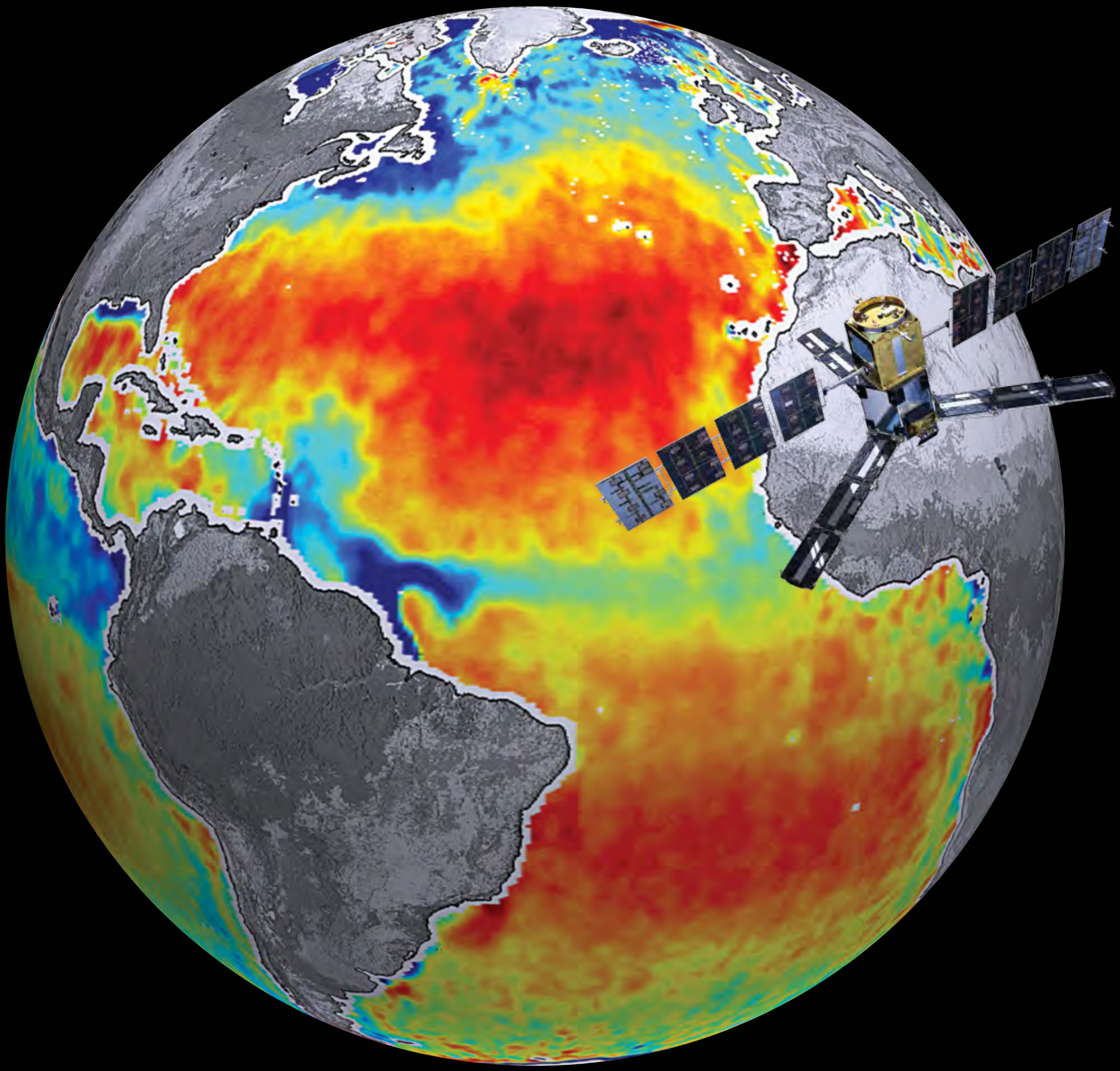
Eine solche theoretische Situation zu testen, war das Ziel der GOCE-Mission. Im März 2011 erstellte GOCE – seine präzise Umlaufbahn zur Erde wurde durch Satellitennavigation (unten) kontrolliert – diese globale Geoid-Karte. Sie stellt eine weltweite Oberfläche dar, die den Weltmeeren entspricht, würden diese von Wind, Strömungen und anderen Einflüssen frei sein.

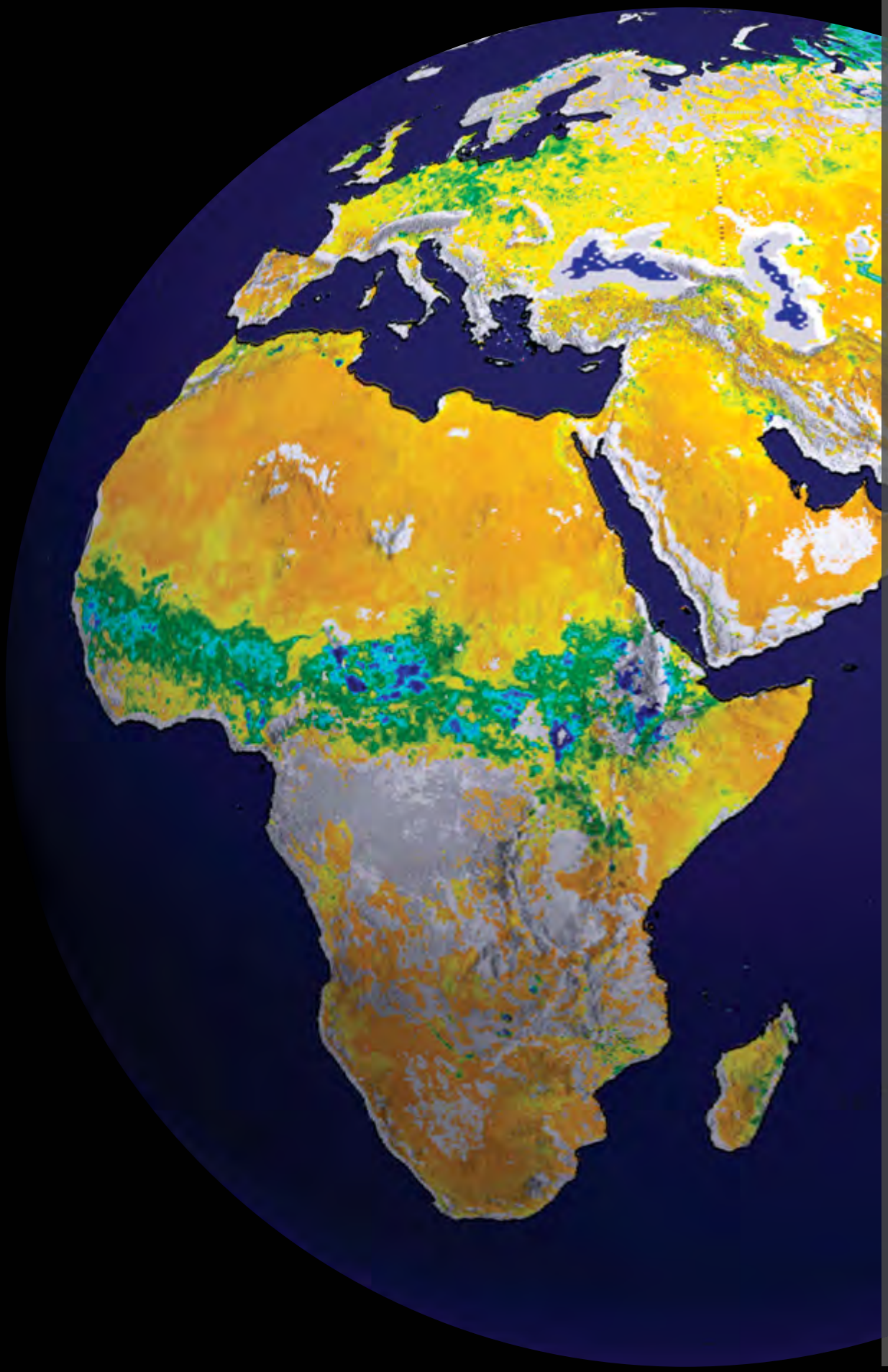
Das Geoid hat einen Dynamikbereich von ungefähr 200 m um die Welt und GOCE brachte dies auf ungefähr 4 cm herunter bei einer räumlichen Auflösung von 100 km, viel besser als je zuvor. Jede neue Umlaufbahn trug zu einem noch genaueren Bild bei, während die Mission bis 2013 weiterlief.

Ein genaues Geoid ist wie ein Fenster zur internen Struktur der Erde, denn es ermöglicht es, die Tiefenströmungen in den Ozeanen genauer als je zu kartieren, trägt dazu bei, die Erdöl- und Mineralienlager und Grundwasservorkommen zu erkennen sowie Messsysteme rund um den Planeten zu standardisieren.









Die salzige, wässrige Haut der Erde

Die ESA-Mission SMOS, Soil Moisture and Ocean Salinity, die 2009 als zweite Earth Explorer-Mission begann besteht aus einem Radioteleskop in der Umlaufbahn. Die Y-förmige Antenne weist die gleiche markante Konfiguration der Empfänger auf, wie das berühmte Very Large Array von Radioteleskopen in New Mexiko in den USA (unten).

Statt hinaus ins Universum zu blicken, kartiert SMOS extrem schwache Funksignale, die von der Wasserhaut unseres Planeten abgegeben werden, wobei so die Bodenfeuchtigkeit und der Salzgehalt der Ozeane berechnet werden kann.

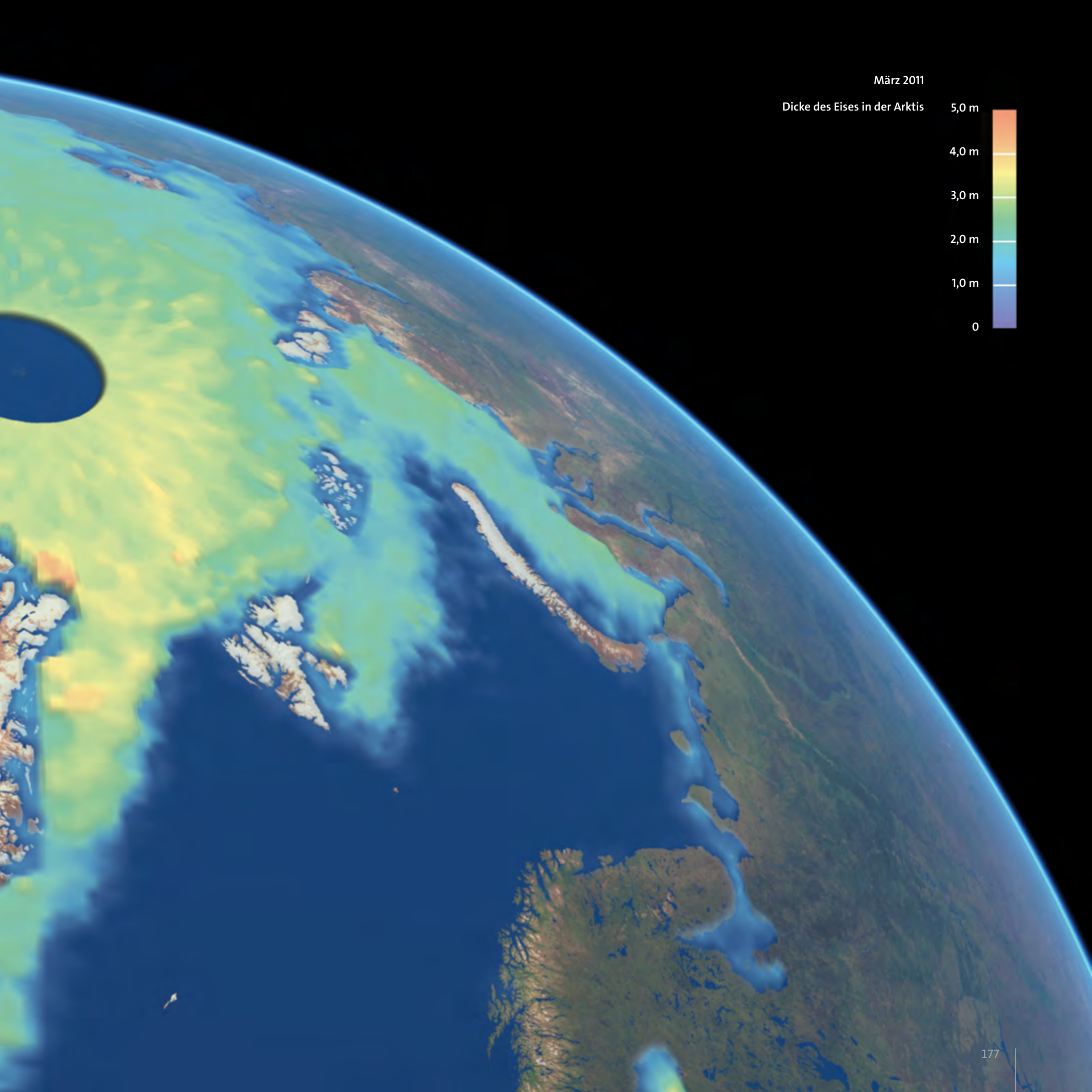
Der Wert dieser Informationen wurde zunächst für das Landwirtschafts- und Wassermanagement verwendet, um so Nahrungsmittelverfügbarkeit und Versandungsprozesse zu erkennen. Danach erst wurde das breitere Verständnis des Wasserzyklus genutzt, um Wettervorhersagen und Klimatologie zu dienen. Die Bodenfeuchtigkeit beeinflusst die regionalen Wettermuster, während der Salzgehalt des Meeres hauptsächlich die Strömungen beeinflusst.

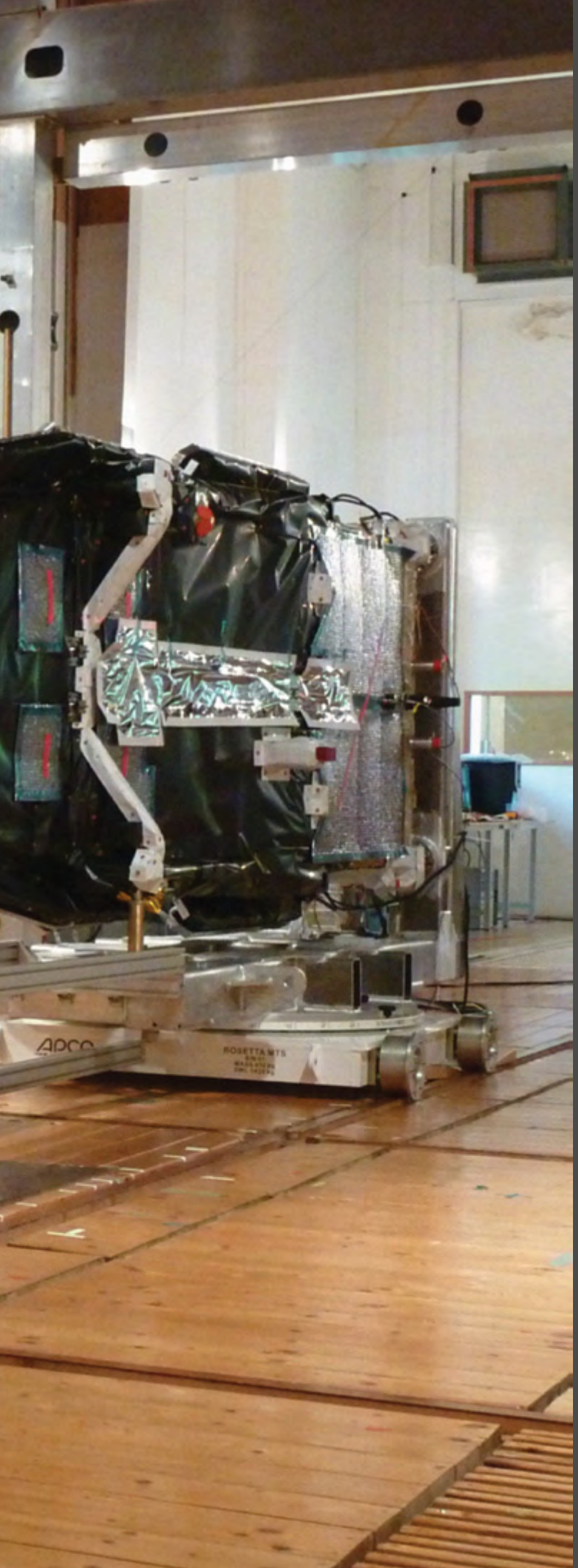
Es dauerte zwei Jahrzehnte, bis die Technologie so weit entwickelt war, dass SMOS möglich wurde, aber die Mission hat alle Erwartungen übertroffen. Sie zeigte eine unerwartete Empfindsamkeit auf Meereis und gefrorenen Boden und hat die Genauigkeit der Vorhersage von Hurrikanstärken verbessert.

Neue Dimensionen bei der Kartierung der Pole

Eine neue Dimension wird mit der ESA-Mission CryoSat-2 zu den neuesten Satellitendaten der Polarregionen der Erde hinzugefügt. Andere Satelliten können die Ausdehnung der Eisflächen und wie schnell diese schrumpfen messen, während sich die Erde weiter aufwärmt. Die Dicke allerdings können sie nicht messen. Aber CryoSat, der 2010 als eine Earth Explorer-Mission startete, trägt einen hochmodernen Radarhöhenmesser, der die Höhe an den Rändern der Landeismassen und des frei fließenden Meereises messen und somit feststellen kann, wie es sich mit der Zeit verändert. Beide dieser Regionen sind wichtig, da dort die Änderungen am schnellsten geschehen und für die früheren Generationen von Satelliten diese relativ schlecht zu sehen waren.

Diese arktische Karte des Centre for Polar Observation and Modelling in Großbritannien nutzte frühe CryoSat-Resultate, um die Eisdicke im Frühling oben an unserem Planeten zu messen. Dieses Bild ist nur eine Kostprobe davon, was noch kommen wird. Es wird Jahre dauern, bis die Daten verarbeitet sind und die Trends vorhergesagt werden können. Die Resultate müssen mit wichtigen Bodenprüfkampagnen in den Polarregionen abgeglichen werden, um zu bestätigen, dass die CryoSat-Resultate mit der beobachteten Realität übereinstimmen.


März 2011
Dicke des Eises in der Arktis
5,0 m
4,0 m
3,0 m
2,0 m
1,0 m
0



Magnetische Mission

Unser Planet ist mit einer zweiten, unsichtbaren Hülle bedeckt: dem Magnetfeld, so groß wie unsere Erde selbst. Die einzigartigen Earth Explorer-Missionen werden mit Swarm, einem Satellitentrio, weitergeführt, das die genaueste Beobachtung des sich stets bewegenden Erdmagnetfelds durchführt, um zu entdecken, wie es sich mit der Zeit verändert.

Hier sehen wir sie in nicht-magnetischer Umgebung im Testzentrum IABG in Berlin. Jeder Swarm-Satellit fliegt auf einer anderen Polumlaufbahn zwischen 400 und 550 km Höhe mit einem modernen Sensor zur Messung der Stärke des Magnetfelds und dessen Richtung, wobei auch zusätzliche Geräte wie GPS-Empfänger, ein Geschwindigkeitsmesser und ein Instrument für das elektrische Feld mit an Bord sind. Die Magnetometer sind auf vier Meter langen, nicht-magnetischen Armen angebracht, um die elektrische Interferenz so gering wie möglich zu halten.

Swarm startete 2013. 2015 wird Aeolus folgen, der die weltweiten Winde mit einem Lasersensor überwachen soll. Der gemeinsame europäisch-japanische EarthCARE startet 2016, um das Zwischenspiel aus Wolken, Aerosolen und Strahlung bei der Bildung des globalen Klimas zu erforschen.

Das Auge der ESA auf die Erde

Wenn man die Erde beobachtenden Satelliten als Anfänge eines planetarischen Nervensystems sieht, dann ist das Nervenzentrum ESRIN, das Earth Observation Centre der ESA in Frascati, Italien, ESRIN, das in den Weinbergen Roms liegt, ist das ESA-Zentrum, von dem aus die Daten aller Erdbeobachtungsmissionen verarbeitet, archiviert und an alle Nutzer auf der ganzen Erde weitergeleitet werden.

Diese Missionen senden stets Daten zurück an die Erde und ESRIN verwaltet ein komplexes und dezentralisiertes weltweites Bodensegment, um sicherzustellen, dass diese Daten von den Empfängerstationen abgerufen und in den Bodenstationen verarbeitet werden. Die ESA nutzt das Multimissions-Bodensegment von ESRIN ebenfalls, um Daten von Satelliten von 30 Partneragenturen, den sogenannten Drittmissionen, abzurufen, zu verarbeiten und zu archivieren.

Das Archiv der Erdbeobachtungsdaten von ESRIN ist das umfassendste Europas. Es ist den Wissenschaftlern frei zugänglich, dezentralisiert organisiert und nutzt immer modernere Techniken, um die stets größeren Datenmengen auf benutzerfreundliche Weise zu verwalten.

ESRIN unterstützt zudem tausende von Wissenschaftlern und betriebliche Nutzer der Erdbeobachtungsdaten, nimmt deren Vorschläge für zukünftige Satellitenkäufe an, löst Probleme mit der Datennutzung, erstellt Programme mit neuen Nutzergruppen und unterhält ein Business Incubation Centre für Start-up-Firmen im Bereich Raumfahrttechnologie. ESRIN ist ebenfalls der Ort, an dem die Beiträge der ESA an Copernicus organisiert werden, wie beispielsweise die Übergangsphase zu den Sentinel-Satelliten, die 2014 begonnen hat.

→ HOCH OBEN ZUHAUSE

Unterhalb der Umlaufbahn von Erdbeobachtungsmissionen befindet sich der am tiefsten fliegende Satellit, der gleichzeitig auch der größte ist. Die 450-Tonnen schwere Internationale Weltraumstation ISS fliegt mit 7,4 Kilometern pro Sekunde auf 400 Kilometern Höhe: Sie ist das einzige bewohnte Objekt in der Umlaufbahn.

Am Leben bleiben

Es gibt derzeit sechs Besatzungsmitglieder auf der Station, wobei ungefähr alle zwei Jahre ein europäischer Astronaut während sechs Monaten dazu stößt. Sie leben in einer bequemen Umgebung, wenn man bedenkt, dass sie das Vakuum außerhalb der dünnen Aluminiumschicht sofort töten würde. Sie allein schon am Leben zu halten, das Ganze auch noch mit einigem Komfort, ist eine beträchtliche Ingenieurleistung.

Ein Durchschnittsmensch benötigt am Tag 0,84 kg Sauerstoff, ohne ihn sterben wir schon nach wenigen Minuten. Gleichzeitig produziert er dabei 1,0 kg Kohlenstoffdioxid. In einem geschlossenen System muss das erste Gas aktiv aufgefüllt und das zweite abgesaugt werden. Zudem benötigen wir täglich 3,5 kg Trinkwasser und 0,62 kg feste Nahrung, um gesund zu bleiben, wobei der Luftdruck, die Temperatur und die Feuchtigkeit innerhalb strikter Grenzen bleiben muss. Zudem benötigt die Station selbst regelmäßig Kraftstoff, um sich in der Umlaufbahn zu halten – der noch vorhandene Luftwiderstand sorgt dafür, dass sie pro Tag 100 m absinkt.

Arbeit in Schwerelosigkeit

Weshalb wird so viel internationaler Aufwand betrieben, um die Station aufrecht zu erhalten? Da wir seit jeher innerhalb des Gravitationsfeldes der Erde gefangen sind, ist es schwierig, zu verstehen, welchen Einfluss die Schwerkraft auf alle möglichen Phänomene hat. Allein durch die Aufhebung der Schwerkraft können wir die Mechanismen verstehen, die hinter diesen Phänomenen stecken und wie die Gravitation sie beeinflusst. Die Schwerkraft ist allerdings überall vorhanden und wir können sie nicht einfach ausschalten. Sogar auf der Höhe der Raumstation ist die Anziehungskraft der Erde nur wenig reduziert. Aber die Station fällt frei in Richtung Erde und lediglich ihre Seitwärtsbewegung hält sie davon ab, je den Boden zu berühren. Allein durch ihre Geschwindigkeit bleibt die Station im permanenten freien Fall und bietet so eine Plattform, um physikalische Grundprozesse ohne die störende Schwerkraft zu studieren.

Forscher können neuartige Metalllegierungen und andere Materialien produzieren, beobachten wie Feuer brennen, um effizientere industrielle Zündmechanismen zu entwickeln und die innere Funktion von Pflanzen und tierischem Leben beobachten, wozu auch unser eigener Körper gehört. Alles Produkte aus Milliarden Jahren Evolution innerhalb eines Gravitationsfeldes. Da die Menschen sich so entwickelt haben, ist die Mikrogravitation für die Astronauten von Nachteil, aber auch wir passen uns an. Crewmitglieder bleiben während mehrerer Wochen und Monate auf der Station.

Jede Stunde des Tages im All ist voller Lernerfahrungen: eine Möglichkeit, fundamentale Wissenschaftstests durchzuführen und neue Industrie-, Medizin- und Anwendungen für den Verbraucher zu finden.

Schritt für Schritt zum Fortschritt

Das Atomuhrenensemble der ESA im Weltall, ACES genannt, ist ein Experiment, das eine neue Art Atomuhren testet, die von der Schwerkraft nicht beeinflusst werden, was sie genauer macht als dies auf der Erde je möglich wäre. Indem die Zeit auf der Station mit den Atomuhren

auf der Erde verglichen wird, überprüfen Wissenschaftler die Grundkonstanten der Physik. Gleichzeitig könnte ACES auch die Genauigkeit der Satellitennavigation verdoppeln. Neue Metalllegierungen, die auf Schaum basieren und in der Schwerelosigkeit entdeckt wurden, finden immer mehr Anwendungen von der Luftfahrt bis hin zu Smartphones. In der Medizin haben Studien der Astronautenbiologie das Enzym enthüllt, das den Tod der Immunzellen verursacht, während kalte Plasmen, die auf der Station untersucht wurden, eine neuartige Lösung für antibiotikaresistente Bakterien sein könnten. Indem wir untersuchen, wie ein Körper den Blutfluss an die Mikrogravitation anpasst, können wir verstehen, weshalb unser Blut nicht in unsere Füße fließt, wenn wir stehen und was passiert, wenn dies im Krankheitsfall dennoch geschieht und Menschen in Ohnmacht fallen.

Indem wir die Auswirkungen der Gravitation auf die Physiologie untersuchen, können wir ebenfalls erfahren, wie es ist, wenn wir länger im Weltall bleiben, so dass wir weiter Entferntes erforschen können, wenn die Zeit gekommen ist.

Europäer in der Umlaufbahn

Die ESA war Gründungsmitglied der internationalen Partnerschaft, die der Station zugrunde liegt, und ist seit langem auf das Leben und Arbeiten im Weltraum fokussiert. Sogar schon als die ersten bemannten Missionen auf den Mond flogen, sprachen die europäischen Wissenschaftler mit der NASA über eine Teilnahme an den Aktivitäten nach Apollo. Das Resultat war Spacelab, ein Labormodul, das sich im Laderaum des neuen Space Shuttle befand, um es von einem Weltraumtransporter in ein voll ausgerüstetes Forschungszentrum im Weltraum zu verwandeln. Die ESA-Astronauten absolvierten ihre ersten Flüge im Shuttle. Sie begannen als Nutzlastspezialisten mit der Aufgabe Experimente durchzuführen, und ihre Fähigkeiten mit den Jahren immer mehr, bis sie an Schlüsselaktivitäten wie Weltraumspaziergängen und dem Betrieb des Roboterarms des Shuttles teilnehmen konnten.

Die Bemühung, eine permanente Forschungsanlage in der Schwerelosigkeit aufzubauen, begann Mitte der 1980er-Jahre und resultierte in der Internationalen Weltraumstation. Die ESA nutzte die Erfahrung vom Bau des Spacelabs, um die Stationsmodule und das europäische *Automated Transfer Vehicle* zu entwerfen, derzeit der größte Raumtransporter, der unseren Außenposten im Weltall versorgen kann.

Weiter weg

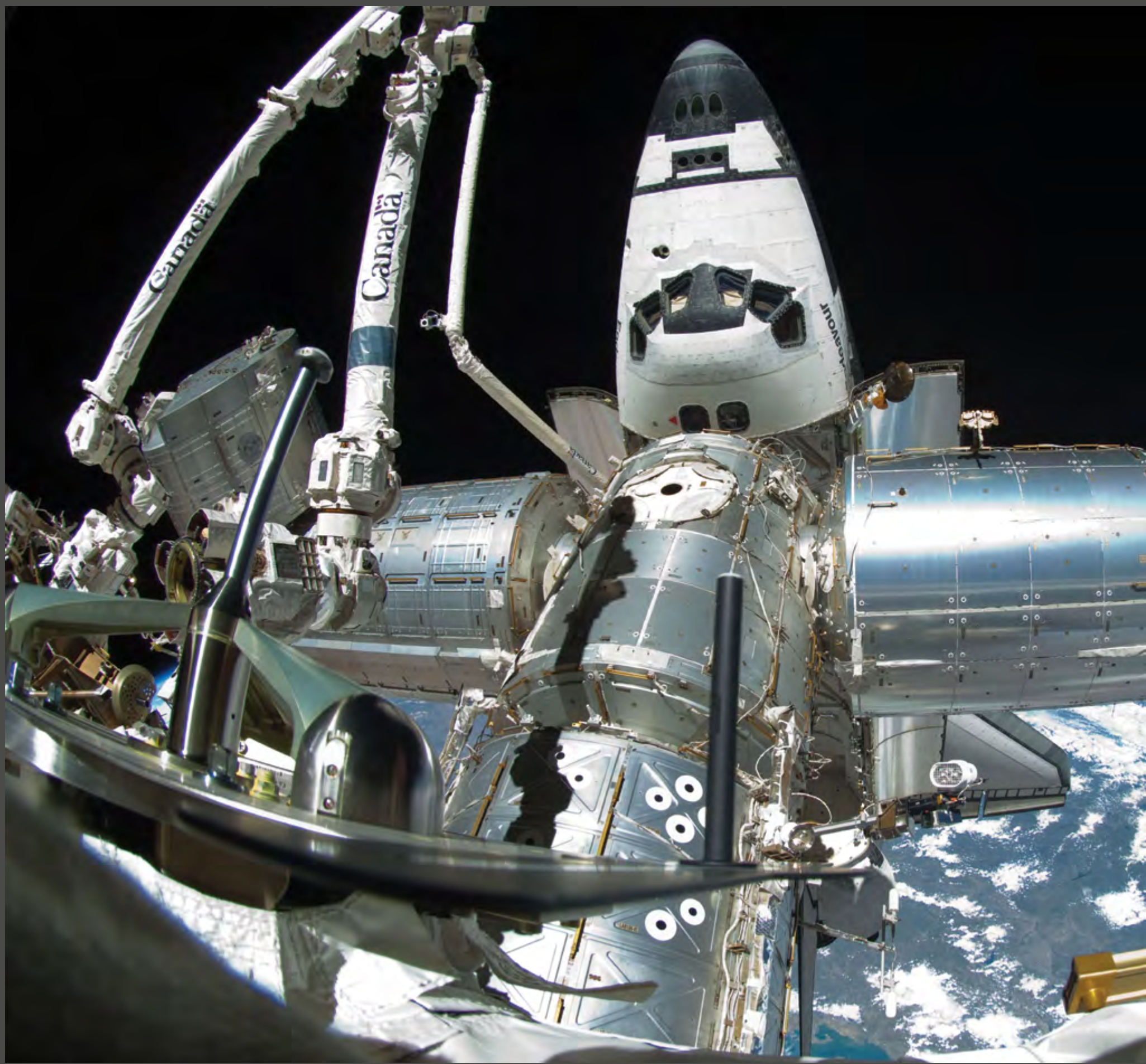
Für die Station selber produzierte die ESA das Columbus-Labor und seine Experimentieranlagen und trug zum Computersystem bei, das die russische Sektion betreibt, den Kühleinheiten, die das japanische Kibo- und das amerikanische Destiny-Modul kühlen und dem Modul für Materialwissenschaften für Destiny. Russland trat Anfang der 1990er-Jahre dem gemeinsamen Stationsvorhaben bei und die europäischen Astronauten flogen in russischen Sojus-Kapseln zunächst zur Mir-Station und danach zur neuen Station. Die folgende Erfahrung im Bau und Betrieb der Station haben die internationale Vorgehensweise gefestigt und die Basis für weitere Forschungsarbeiten gelegt. Für den bemannten Raumflug sind die europäischen Werte für Vielfalt und Kooperation zur Norm geworden. Aber weiter ins Weltall zu gelangen wird schwierig sein. Der Mond ist ungefähr tausend Mal weiter weg als die Station und Mars noch tausend Mal weiter als der Mond. Die ESA sucht nach den technologischen Entwicklungen und den menschlichen Faktoren, die für einen solchen Sprung in der Forschung nötig sind.

Ein gemeinsam genutzter Weltraum

Die Internationale Raumstation ist das größte vom Menschen gebaute Objekt im Weltall: Ihre Größe entspricht der eines Airbus A380. Sie hat eine Masse von ungefähr 450 Tonnen, eine Breite von 108 m – breiter als ein Fußballfeld – und eine Länge von 74 m, die auf 88 m steigt, wenn ein Raumschiff angekoppelt ist Die 2230 m^2 Solarpaneele, die das Aussehen der Station bestimmen, erzeugen genügend Strom für eine Kleinstadt.

Innerhalb der unter Druck stehenden Module, die quer zum Hauptteil der Station stehen, haben die sechs Crewmitglieder 1200 m^3 zur Verfügung, ungefähr drei Mal mehr als in einer typischen Wohnung in Europa.

Der Bau der Station war die komplexeste jemals gemeisterte internationale Aufgabe. Die ESA ist für zwei wesentliche Komponenten der Station verantwortlich: das Columbus-Labor und das Versorgungsfahrzeug ATV (Automated Transfer Vehicle). Zudem wurden mehr als die Hälfte der unter Druck stehenden Elemente der Station in Europa entwickelt und gebaut und im Rahmen von Tauschabkommen an die NASA geliefert.

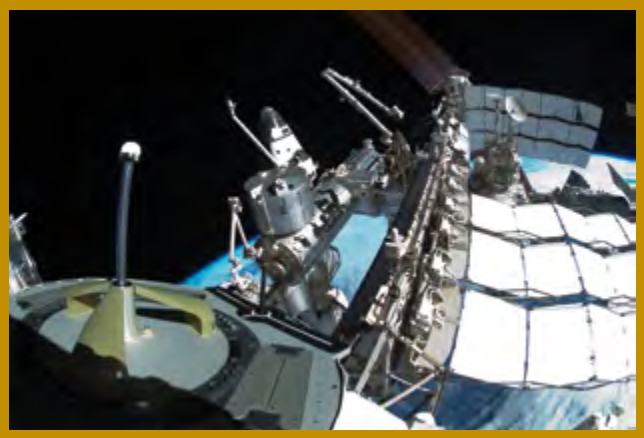

Canada
Canada
ENDEAVOUR

Forschungsplattform

Diese Fish-Eye-Ansicht der ISS mit dem Space Shuttle *Endeavour* zeigt die volle Ausdehnung des Komplexes, dem Resultat des wohl herausforderndsten Baus in der Geschichte. Das Columbus-Modul der ESA ist Mitte rechts zu sehen. Es waren insgesamt über 120 Flüge zur Station, davon 40 Konstruktionsflüge, nötig, um diesen Stand zu erreichen. Genau gesehen befindet sie sich weiterhin im Bau, da ein weiteres russisches Modul und der europäische Roboterarm der ESA noch hinzugefügt werden soll. Und für weitere Module bleiben zusätzliche Andockstellen frei.

Das Space Shuttle der NASA führte die meisten Schwertransporte durch, wobei über 150 Weltraumspaziergänge, also ungefähr 1000 Arbeitsstunden, für die Ausstattung und Wartung sowie dem Aussetzen und späteren Einsammeln externer Experimente aufgewendet wurden. 2006 war Thomas Reiter der erste ESA-Astronaut, der an einem Weltraumspaziergang zum Bau der Station teilnahm und Hardware außen anbrachte, um den Einbau weiterer Bauteile zu ermöglichen.

Die Station ist innen und außen eine äußerst flexible Forschungsplattform Das Instrument „Monitor of All-sky X-ray Image“ am japanischen Kibo-Modul (links) beobachtet den gesamten Himmel im Röntgenbereich, um Astronomen Hinweise zu geben, wohin sie blicken sollen. Der Alpha Magnetic Spectrometer (unten) – überwacht vom CERN in der Schweiz und im ESTEC Technikzentrum der ESA in den Niederlanden für den Einsatz im Weltraum getestet – versucht exotische Partikel zu erkennen, die mögliche Spuren von dunkler Materie und Antimaterie sein könnten.



Europas Platz im Weltraum

Das Columbus-Labor ist der Hauptbeitrag der ESA zur Weltraumstation.

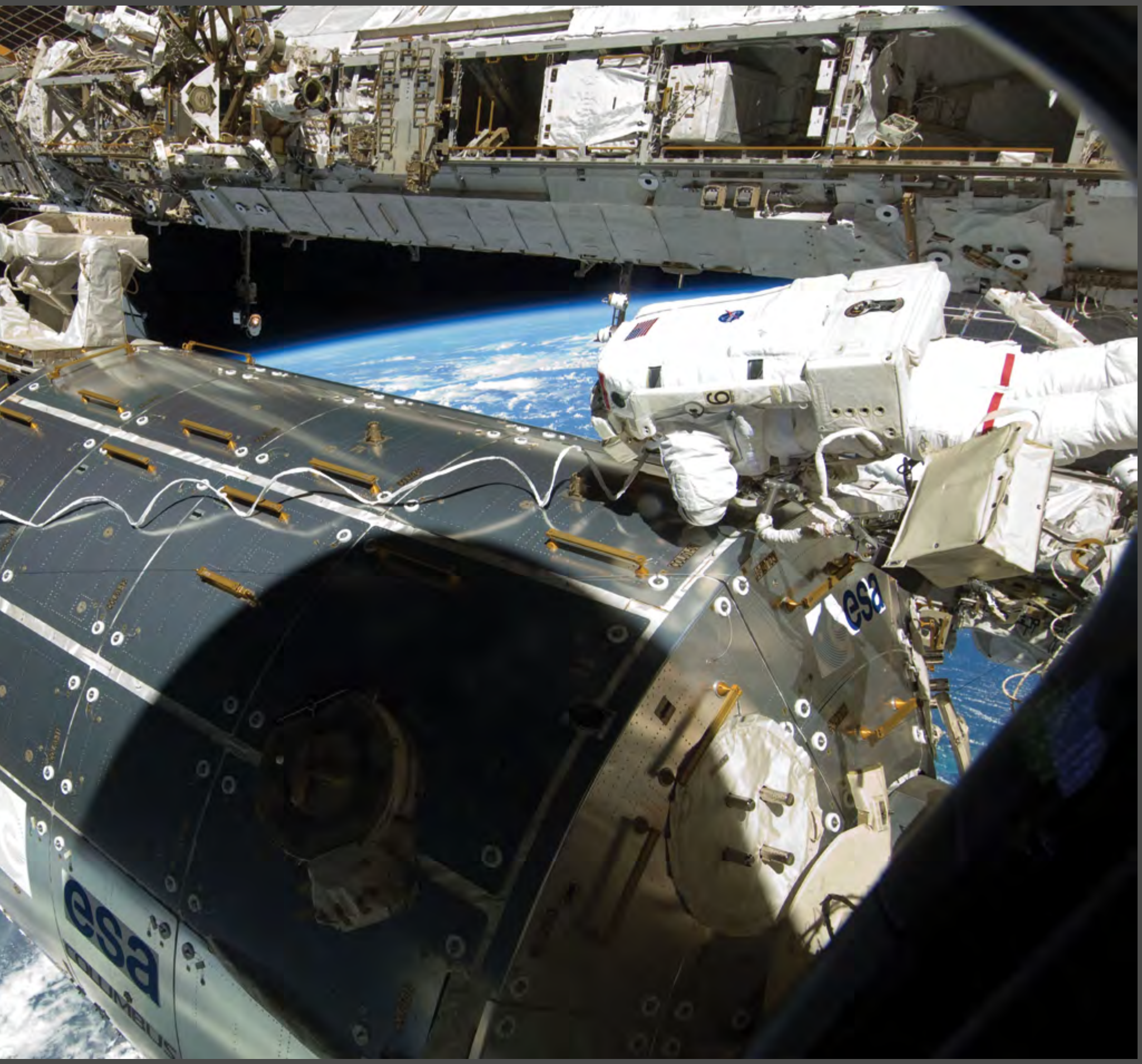
Manchmal kommen große Dinge klein verpackt. Unten auf der Erde würde Columbus ein mehrstöckiges Gebäude füllen. Denn es ist mehr als ein Einzellabor, es ist ein vollständig ausgerüstetes Forschungszentrum, das sich an verschiedene Disziplinen richtet: Grundlagenphysik, Materialwissenschaften, Technologietests und Biologie sowie Umweltüberwachung.

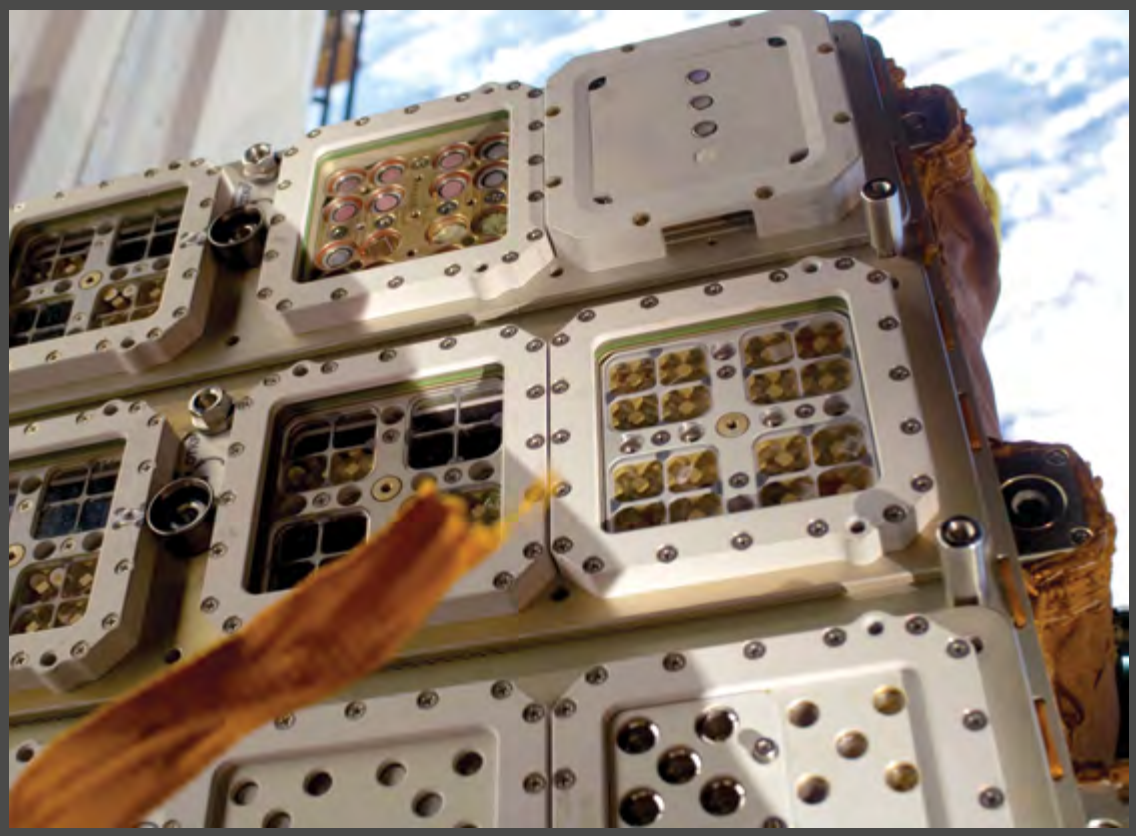
Aber die ESA hat Columbus nicht für die Erde sondern für den Weltraum entwickelt. Und im Weltraum ist der Platz paradoxerweise immer knapp.

Europäische Ingenieure mussten sich somit der Herausforderung stellen, ein gesamtes Labor so klein zu machen, dass es in einen Zylinder von 6,8 m Länge und 4,5 m Breite passte, was ungefähr einem Frachtcontainer oder einem großen Wohnwagen entspricht. Und mit den Labors mussten die gesamten wichtigen Untersysteme Platz finden, labyrinthische Stromversorgungskabel, Daten- und Videoverbindungen, Rohre und Kühlelemente sowie natürlich Fernbedienungen und lebensunterstützende Systeme.

Im Vergleich dazu die Ingenieurleistung die nötig ist, um einen Formel-1-Rennwagen zu bauen: hochleistungsfähige Komponenten von unterschiedlicher Herkunft die sorgfältig innerhalb eines eng begrenzten Raumes Platz finden müssen. In beiden Fällen benötigen die Maschinen – zu komplex für eine einzelne Person – eine Betriebssoftware, die aus hunderttausenden von Codezeilen besteht. Und natürlich muss das Ganze auch noch so aufgebaut sein, dass Menschen darin Platz finden.

Die 75 Kubikmeter Volumen beinhalten ein komplettes Set von Wissenschaftslabors, die Dutzende verschiedener Experimente in den Bio-, Materialwissenschaften, der Strömungsphysik und weiteren Disziplinen zulassen. Viele Columbus-Experimente können ohne die Überwachung durch Astronauten verlaufen, da sie an ihrer Stelle vom Columbus-Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen, Deutschland, betrieben werden und mit einem Columbus User Support-Netzwerk und Betriebszentren in den verschiedenen Mitgliedsstaaten der ESA verbunden sind. Während also nur wenige Menschen Columbus je betreten werden, werden tausende von Menschen damit gearbeitet haben.


esa
esa



Der Schwerkraft widerstehen

Während des permanenten Falls um die Erde – nach unten gezogen von der Erdanziehung, aber bei einer Geschwindigkeit, die es verhindert, dass sie den Boden erreicht – gibt die Raumstation steten Zugang zu Mikrogravitationsbedingungen. Dies ist für die Wissenschaft von großem Vorteil, denn die Schwerelosigkeit kann auf der Erde nur während weniger Sekunden erreicht werden, beispielsweise mit Falltürmen oder Parabelflügen.

Auf der Erde befinden wir uns direkt an der Quelle der Gravitation. Sie formt die Welt, bestimmt wie wir leben und ermöglicht grundlegende physikalische Prozesse, wie Schwungkraft, Sedimentierung und Wärmekonvektion. Die Forschung der ESA auf der Station, unterstützt vom European Programme for Life and Physical Science (ELIPS), bietet die Möglichkeit wichtige physikalische, chemische und biologische Prozesse ohne die verändernden Effekte der Gravitation zu studieren. In vielfacher Hinsicht ist die Station wie ein zum Leben erwecktes Physikbuch. Newtons drittes Gesetz der Bewegung (Actio = Reactio, jede Kraft hat ihre Gegenkraft) wird zur praktischen Basis für alle Bewegungen der Astronauten.

Das Hochvakuum direkt hinter der dünnen Aluminiumschicht ist eine weitere wissenschaftliche Quelle. Proben können außerhalb platziert werden, um zu sehen, wie diese auf die Weltraumumgebung reagieren, wie dies hier am Beispiel der Expose-Anlage (nebenan) sichtbar ist.

Nachschubwege

Die Raumstation ist das vom Shuttle gebaute Haus, denn beinahe alle Module und der meiste Teil des Nachschubs wurden mit diesem Raumschiff für schwere Lasten ins All verfrachtet. Auf dem unteren linken Bild ist die Landung 2011 der STS-134, dem zweitletzten Shuttle-Flug, abgebildet, bei dem auch zum letzten Mal ein europäischer Astronaut mitflog: Roberto Vittori.

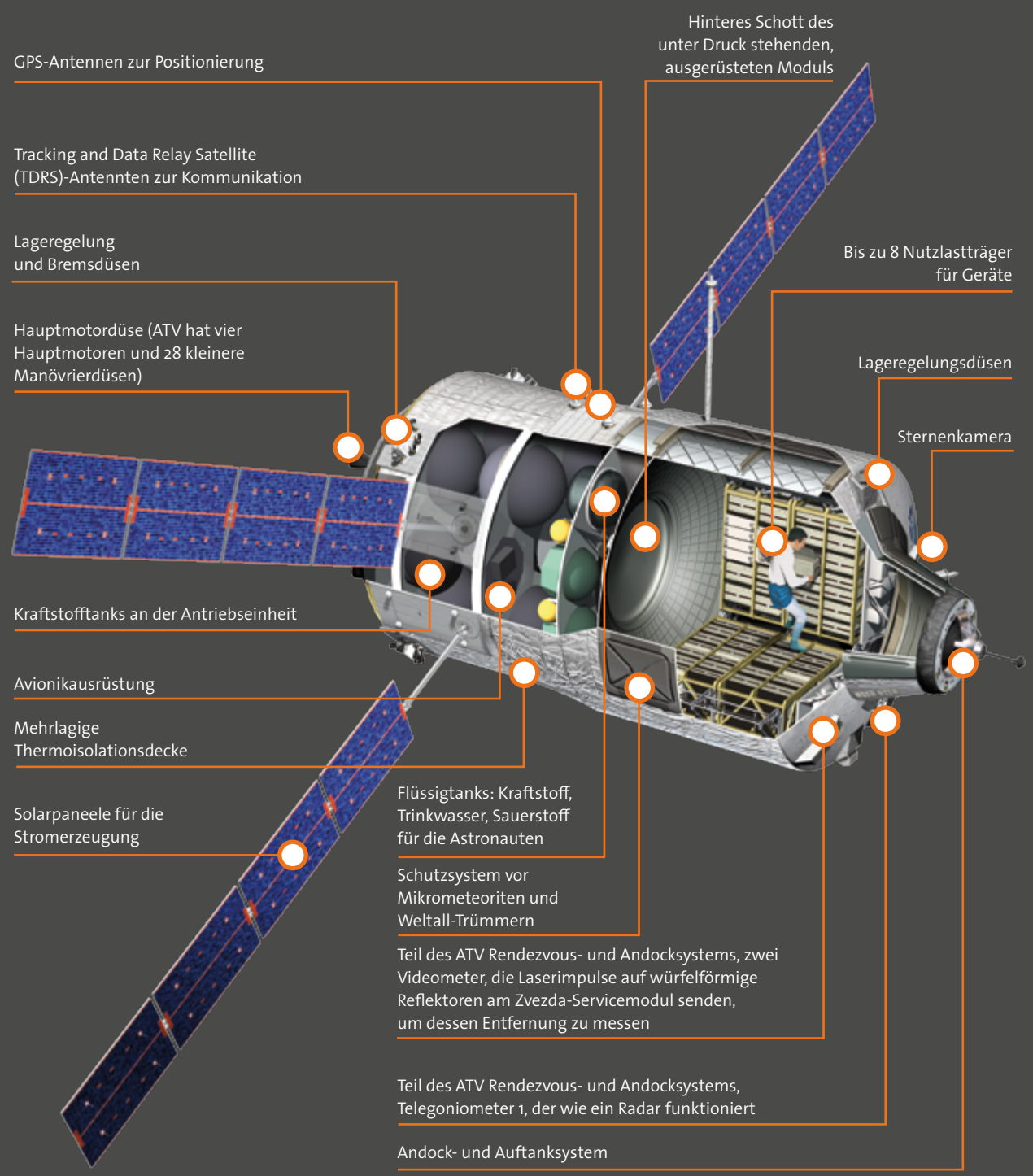
Die anderen internationalen Partner müssen jetzt die Station mit Material und neuen Besatzungen versorgen. Die russische Sojus (Hauptbild) ist derzeit das einzige Raumschiff, das Menschen zum und vom Außenposten transportieren kann, wobei zwei stets an der Station andocken. Bemerkenswert ist die Insektenform. Nur das glockenförmige Mittelsegment, die Abstiegsstufe, wird wieder auf die Erde zurückkehren.

Unbemannte Frachtfähren liefern neue Experimente, Nahrungsmittel, Wasser, Sauerstoff und Kraftstoff, um die Station auf ihrer Umlaufbahn auf 400 km zu halten. Das russische Progress-Versorgungsschiff ist von der Sojus-Kapsel abgeleitet, wobei allerdings die Abstiegsstufe durch einen Kraftstofftank ersetzt wurde, der ungefähr zwei Tonnen Inhalt fasst, und zudem eine Nutzlast von ähnlichem Gewicht tragen kann. Das japanische Transportfahrzeug H-II (unten rechts) bringt sechs Tonnen Material in seinem seinem unverwechselbaren goldfarbenen Schiffskörper. Eines der Hauptelemente in der Nachschubkette war das europäische Automated Transfer Vehicle, das neben den unbemannten Frachtfähren Dragon und Cygnus der USA, operierte.

Letzte Vorkehrungen

Letzte Beladung des Automated Transfer Vehicle (ATV) der ESA am Startplatz Kourou im Jahr 2012 (unten). Die Sicherheit der Besatzung hat oberste Priorität, weshalb die Techniker Reinraumkleidung tragen, um Verunreinigungen zu vermeiden, wenn sie durch die Andockklappe steigen und die letzten Gegenstände festzurren. Sobald dieser Vorgang beendet ist, wird das Innere mit Reinluft gespült, ehe die Klappe verschlossen wird. Der größte Teil der Beladung wurde schon vorher fertiggestellt, bevor die beiden Hälften der ATV, das Servicemodul und der Integrated Cargo Carrier, verbunden wurden.

Seitdem das Space Shuttle nicht mehr flog, war das autobusgroße ATV die größte Frachtfähre für die ISS. Ein ATV besteht aus Elementen aus ganz Europa und weist eine Größe von 10,3 m Höhe, 4,5 m Breite und ein Gewicht von über 20 Tonnen beim Start auf, wovon 7,6 Tonnen Fracht sind: Wasser, Luft, Kraftstoff und Trockenfracht wie Nahrungsmittel, Ersatzteile und Experimente. Der Kraftstoff, den ATV mitführte, wurde teilweise für das Andocken an der Station verwendet, wobei der Rest teils in die Station gepumpt wurde und teils für das stets angedockte ATV verwendet wurde, das den Außenposten regelmäßig wieder auf die richtige Umlaufbahn brachte, da die Restturbulenzen ihn mit der Zeit absinken lässt.



ATV auf seinem Weg

So sieht ein Raumschiffstart von oben aus. Der Start des ATV-2, *Johannes Kepler*, hier von der wartenden Stationsbesatzung am 16. Februar 2011 aufgenommen. Dieses einzigartige Foto wurde vom ESA-Astronauten Paolo Nespoli von 350 km Höhe nur wenige Minuten nach dem Start des ATV aufgenommen, das hier auf einer Ariane 5-Rakete vom europäischen Weltraumbahnhof in Französisch-Guayana abgehoben hat. Es zeigt die Abgaswolke der Ariane in der noch vertikalen Startposition in die Umlaufbahn, sichtbar als winziger, weißer Strich unter dem Roboterarm der Station.

Ungefähr 75 Minuten nach dem Start trennt sich das ATV auf 260 km Höhe von der oberen Stufe der Ariane 5 und wird zum autonomen Raumschiff. Verschiedene Manöver in der Umlaufbahn, die vom Kontrollzentrum in Toulouse aus gesteuert werden, führen das ATV langsam hin zur Station, wo es andockt.

Das ATV-3 der ESA startete am 23. März 2012 und war die schwerste Kombination aus Rakete und Nutzlast, die je von den Europäern geflogen wurde.

Automatisches Treffen

Das ATV ist zwar unbemannt, steckt aber voller menschlicher Intelligenz. Ungefähr eine Million Codezeilen überwachen den Flug und kontrollieren ungefähr Hundert Betriebsmodi. Das Resultat ist ein Raumschiff, das sich automatisch an die Raumstation andocken lässt, ohne dass die Besatzung mithelfen muss. Das Design entspricht den Sicherheitsrichtlinien für die bemannte Raumfahrt: Es muss auch nach zwei Fehlfunktionen noch in jedem Zustand sicher sein. Zur doppelten Sicherheit überwachen zwei unabhängige Softwareteile das Andockmanöver, ein drittes zählt auf ein separates Set von Sensoren und bringt das ATV beim geringsten Problem auf eine Parkumlaufbahn. Das ATV-Kontrollzentrum und die Besatzung können jedes nachfolgende Manöver unterbrechen.

Das ATV beginnt das Andocken mit GPS-Daten und wechselt zu Video- und Lasermessungen während der endgültigen Annäherung. Es klinkt sich mit einer Schildkrötengeschwindigkeit von ungefähr 7 cm/s und einer Präzision von 1,5 cm/s an die Station, während das Ensemble bei 8 km/s um die Erde rast. Das Andocken verläuft so sanft, dass die Besatzung nicht einmal den geringsten Stoß fühlt.

Sobald es angedockt hat, wird die Luke geöffnet und die Nutzlast manuell entladen, während Wasser- und Sauerstofftanks über die Ventile aufgefüllt werden. Die Kraftstofftanks der Station werden automatisch betankt.

Ein weiterer Vorteil für die Besatzung ist der zusätzliche Wohn- und Schlafraum, der während den bis zu sechs Monaten Andockzeit zur Verfügung steht. Während es nicht als Wohnfläche dient, schätzen die Besatzungsmitglieder die gute Beleuchtung und die Ruhe, und natürlich ist es auch mit einem Schutzschild gegen Mikrometeoriten ausgerüstet ist.

Der menschliche Faktor

Der 2. November 2000 wird wohl als wichtiges Datum in die Geschichte eingehen. An diesem Tag begann die erste dreiköpfige Besatzung in der Raumstation zu wohnen. Die Expedition 1 stellt den Beginn der permanenten menschlichen Präsenz in der erdnahen Umlaufbahn dar, was bis heute, 30 Expeditionen später, ungebrochen ist.

Die Station ist ein erstklassiges Labor für physikalische, chemische und biologische Experimente im Bereich Mikrogravitation, benötigt aber wie alle Labors auch Techniker. Die Menschen sind ein wichtiger Bestandteil der Station: Hier langweilt sich niemand, denn Experimente müssen überwacht werden, manchmal dient ein Mensch auch gleich als Testobjekt, oder Routinewartungen und Arbeiten an den automatisierten Systemen müssen durchgeführt werden. Die Station ist ebenfalls eine multifunktionale Beobachtungsplattform für die Astronauten, die so ihren Heimatplaneten betrachten können, über dem sie kreisen.

Und die Erfahrung, die die internationalen Partner durch das Leben und Arbeiten in der Umlaufbahn gewinnen, kann für Folgeexpeditionen angewandt werden, die weiter ins All reichen werden, wobei insbesondere das Testen von neuartigen Systemen und Hardware eine große Rolle spielt.

Auch ESA-Astronauten sind regelmäßig auf der Station dabei. Der Italiener Umberto Guidoni war der erste ESA-Astronaut, der sie 2001 betrat, während der Deutsche Thomas Reiter bei Expedition 13 und 14 2006 die Crew ergänzte. Leopold Eyharts flog 2008 mit, um das Columbus-Modul einzusetzen. Der ESA-Astronaut Frank De Winne war der erste, der die Station bei der Expedition 21 2009 kommandieren durfte. Und Paolo Nespoli, hier abgebildet, half 2007 mit, das Node-2 Harmony-Modul auszuliefern und diente während der Expeditionen 26 und 27 2010–11 als Flugingenieur.

CENTRE D'ESSAIS
EN VOL

Gewichtsverlust Marke ESA

ESA-Astronauten beim Training in der Schwerelosigkeit im Mai 2010 an Bord des CNES/ESA-Zero-G-Flugzeugs für Parabelflüge nach dem Start in Bordeaux-Mérignac in Frankreich.

Von rechts nach links, alle in Blau: Samantha Cristoforetti aus Italien, Thomas Pesquet aus Frankreich, Andreas Mogensen aus Dänemark und Tim Peake aus Großbritannien. Ebenfalls an Bord waren Alexander Gerst aus Deutschland und Luca Parmitano aus Italien. Diese Astronautenkandidaten des Jahrgangs 2009 schlossen die Ausbildung noch im gleichen Jahr ab.

Der Mann in Rot ist der „Schutzengel", dessen Aufgabe es ist, alle rechtzeitig zu orientieren, wobei ein Manöver jeweils 22 Sekunden Mikrogravitation und ungefähr genauso lange Hypergravitation (1,8 *g*) bietet, wenn die Piloten die Motoren wieder aufheulen lassen und so den Leerlauf beenden. Indem das Manöver wiederholt wird, können pro Flug insgesamt ungefähr 12 Minuten Mikrogravitation erreicht werden.

Parabelflüge werden in der Forschung sehr häufig verwendet. Die ESA sponsert regelmäßig Parabelflugkampagnen für Wissenschaftsteams aus ganz Europa.

Absinken und doch schwimmen

Auf der Erde kann Mikrogravitation nur für kurze Zeit erreicht werden. Die Option, die dem am nächsten kommt, ist unter Wasser in einem passenden Raumanzug mit Gewichten und Auftriebskörpern für einen neutralen Auftrieb. Alexander Gerst trainierte hier für Weltraumspaziergänge im Neutral Buoyancy Laboratory (NBL) in der Sonny Carter Training Facility der NASA im Johnson Space Center in Houston, Texas, USA im Februar 2012. Er bereitete sich auf seine sechs Monate als Flugingenieur für die Expeditionen 40 und 41 auf der ISS 2014 vor.

Das NBL hat den weltgrößten Swimmingpool: 62 m lang, 31 m breit und 12,34 m tief. Ganze Stationsmodule werden in den 23,5 Millionen Liter Wasser versenkt. Neutraler Auftrieb bedeutet, dass die Auszubildenden – und alle Arbeitsgeräte – im Wasser schwimmen, statt abzusinken oder aufzutauchen. Sogar dann sind die Auszubildenden nicht ganz schwerelos, weshalb eng anliegende Anzüge von größter Bedeutung sind.

Wie sich dies für ein internationales Raumfahrtprojekt gehört, müssen Astronauten eine globale Odyssee absolvieren, bevor sie zur Station reisen können. Dies kommt daher, da ein Besatzungsmitglied unabhängig seiner Herkunft alle Teile der Station betreiben können muss, weshalb alle internationalen Partner ein Training vor Ort für die jeweiligen Elemente anbieten. Diese komplexe Ausbildung dauert drei bis fünf Jahre.

Der beste Freund des Menschen

Es sind nicht nur Menschen, die für Weltraumspaziergänge trainieren müssen. 2007 musste der dreiarmige Roboterassistent-Prototyp namens Eurobot erste Schritte in der 10 Meter tiefen Neutral Buoyancy Facility der ESA im europäischen Astronautenausbildungszentrum in Köln, Deutschland, vollbringen, um an der Seite des Astronauten Jean-François Clervoy seine Arbeit auszuführen.

Menschen und Roboter werden bei der zukünftigen Entdeckung des Weltraums gemeinsam arbeiten. Roboter auf der Stationshülle könnten vor Weltraumspaziergängen Inspektionen aus der Nähe vornehmen und Vorbereitungsarbeiten durchführen, wie zum Beispiel Geräte und Werkzeuge an die richtige Stelle zu transportieren. Solche Roboterassistenten werden immer wichtiger, denn die immer älter werdende Station benötigt zunehmend mehr Wartung.

Außerhalb der Erdumlaufbahn können Roboter neue Umgebungen erforschen, ehe die Menschen sie erkunden. Das Multi-purpose End-To-End Robotic Operations Network-Projekt der ESA, kurz Meteron, versucht, Roboter auf der Erde von der Raumstation aus zu steuern: Dies simuliert Zukunftsmissionen, bei denen Astronauten in der Umlaufbahn Gefährte auf der Planetenoberfläche steuern, wobei so die menschliche Präsenz in unbekanntem Terrain ohne die Zusatzkosten und Gefahren einer Landung getestet werden kann.

esa

Simulation in der Sojus-Kapsel

Der ESA-Astronaut André Kuipers übte in der Zentrifuge der Sojus-Kapsel im Trainingszentrum in Swjosdny Gorodok, zu deutsch Sternenstädtchen, in der Nähe von Moskau seinen Flug zur Raumstation im Dezember 2011. Die Sojus wurde seit dem ersten Besuch des Niederländers 2004 modernisiert, weshalb er die bedeutenden Veränderungen im Innern erst einmal kennenlernen musste.

Im Sternenstädtchen wurden die ersten sowjetischen Kosmonauten ausgebildet, darunter Juri Gagarin, dessen Witwe noch immer da wohnt. Zur Anlage gehört eine Zentrifuge zur Simulation der hohen Beschleunigung beim Start und verschiedene Versionen der Stationsmodule Russlands. Einige Module sind im Sternenstädtchen im Hydrolab-Becken mit neutralem Auftrieb für das Training von Weltraumspaziergängen abgelassen, während andere an Land es den Auszubildenden ermöglichen, die kleineren Details ihres neuen Zuhauses kennenzulernen sowie die Prozeduren und Notfallsituationen zu üben. Dazu gehört beispielsweise ein Feuer in der Schwerelosigkeit, denn die Erfahrung zeigt, dass sich die Module extrem schnell mit sichtversperrendem Rauch füllen.

„Dabei wird versucht, echte Flüge so reell wie möglich nachzubilden“, erklärte André damals. „Und wir werden immer mehr auf Dinge vorbereitet, die hoffentlich nie passieren werden.“

Raketenzug

Die Sojusrakete wird hier zwei Tage vor ihrem Start im Schritttempo auf einem Zug bis zur Abschussrampe gefahren. Dann wird sie aufgestellt und alle Starttests werden durchgeführt, wozu auch die Aktivierung der gesamten elektronischen und mechanischen Geräte gehört. Die Rakete wird am Starttag betankt, wobei der Countdown drei Stunden vor Abflug beginnt und die Piloten eine halbe Stunde später die Rakete betreten.

Die russische Sojus – der Name steht sowohl für die dreistufige Rakete als auch für die bemannte Raumfähre obendrauf – ist derzeit die einzige Zugangsmöglichkeit für Menschen zur Raumstation. Die bemannte Version der Sojus startet nur vom Kosmodrom Baikonur in Kasachstan, wo auch 1961 Juri Gagarin die Ära des bemannten Raumfluges einläutete.

Baikonur ist ein öder Ort, der während des Kalten Kriegs ausgewählt wurde. Inmitten Zentralasiens können die Wetterbedingungen stark variieren. Derzeit kommen alle Astronauten der Welt her, um hier zu starten. Die Mitwirkung der ESA an der Station ermöglicht es europäischen Astronauten, ungefähr alle zwei Jahre an einer Expedition teilzunehmen.

Aufwärts

Die Sojus TMA-15 steigt am 27. Mai 2009 vom Kosmodrom Baikonur auf, im Innern ESA-Astronaut Frank de Winne, der der erste europäische Kommandant der Internationalen Raumstation werden sollte. Die Sojus fliegt mit der ersten Kerosin- und Flüssigsauerstoffstufe und den vier Zusatzantrieben himmelwärts. Das Rendezvous und Andocken mit der Station dauert heute nur noch ungefähr sechs Stunden statt wie früher zwei Tage.

Die Sojus-Rakete ist das Arbeitstier des russischen Weltraumprogramms. Seit den 1960er-Jahren ist sie stets in Produktion und was das Design angeht ein Abkömmling der R-7-Rakete, die Sputnik 1957 ins All trug und die Weltraumära einläutete. Die Sojus hat über 1700 bemannte und unbemannte Missionen geflogen und ist für bemannte Flüge äußerst zuverlässig gebaut, mit einer Notrakete, die bei einem Notfall während der Startphase die Besatzung sicher retten kann.

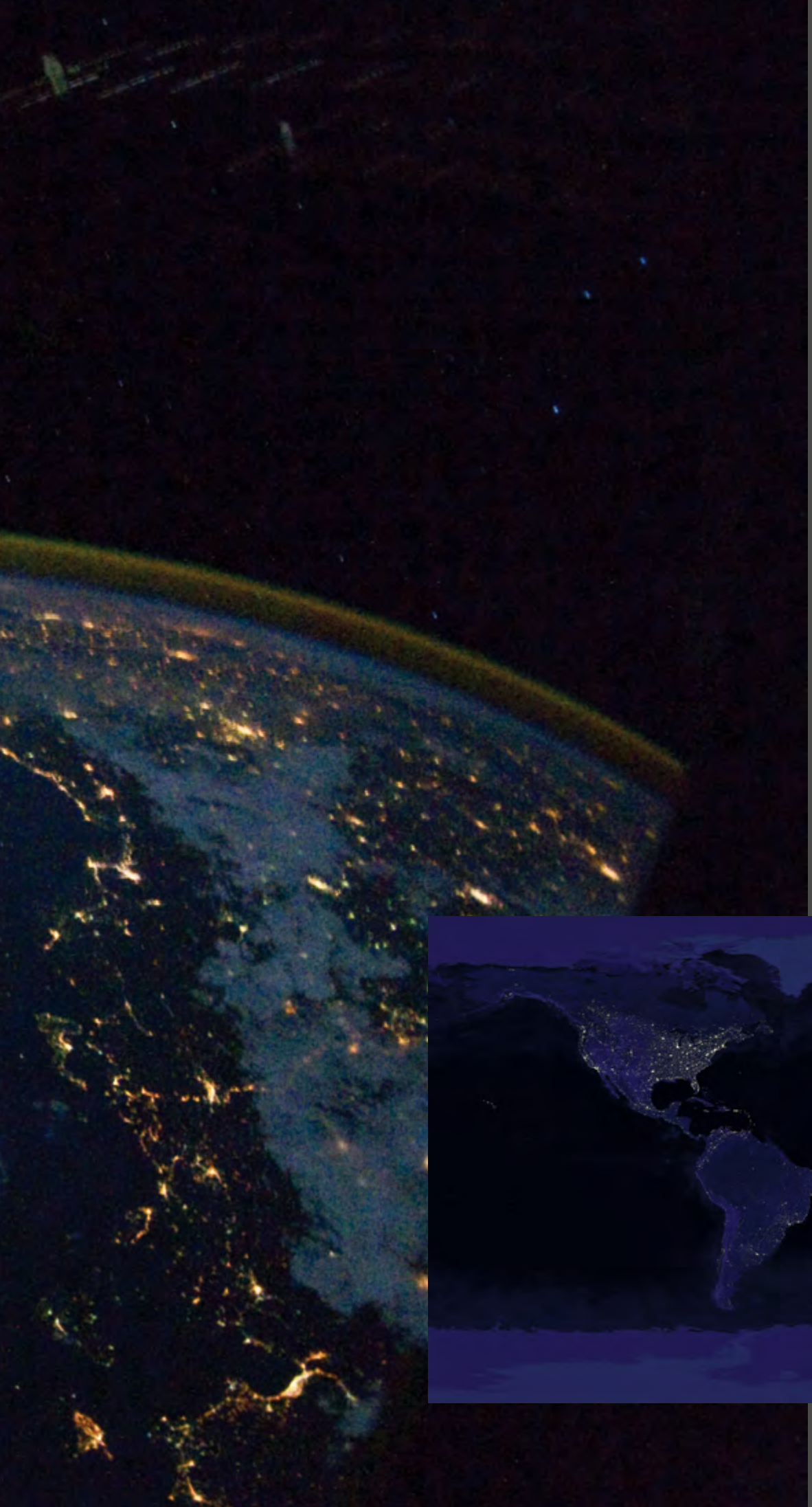
Ein Fenster zur Welt

In der Umlaufbahn sind die Augen der Besatzungsmitglieder genauso fleißig wie die Hände. ESAs Cupola weist das größte Fenster auf, das je ins All geflogen wurde: Ein Hauptfenster mit 80 cm Durchmesser und sechs trapezförmige Fenster bieten aus diesem Aluminiumdom volle Sicht auf die Erde und das umliegende Weltall. Die zusammengeschweißten Quarzglasfenster sind optisch so perfekt wie nur möglich und halten der Sonnenstrahlung und Raumtrümmern über Jahre hinweg stand.

Cupola, die an Node-3 angedockt ist, ist für die Überwachung von Andockmanövern und Roboterarmbetätigungen mit einer Roboterarmsteuerung sehr nützlich. Auch wissenschaftliche Instrumente können dort angebracht werden. Das Hauptfenster bietet direkten Blick auf die Erdoberfläche und durch die Seitenfenster kann die Atmosphäre der Erde betrachtet werden. Cupola ist auch in der Freizeit ein beliebter Platz der Astronauten, da die Station meist über bewohntem Gebiet kreist.

Bei Nicht-Verwendung werden die Fenster mit externen Klappen geschützt, die von innen über einen kleinen Hebel hochgeschoben werden können. Danach werden die Klappen wieder geschlossen, um das Glas von Mikrometeoriten und Raumtrümmern zu schützen und die Temperatur im Griff zu halten.

Die dreifach verglasten Fenster sind so entworfen, dass sie schnell individuell oder als Ganzes ersetzt werden können, wobei ein Astronaut zunächst von außen eine Druckkappe über dem Fenster anbringen müsste.



Lichter in der Nacht

Die Stationsbesatzungen haben zunächst Mühe, direkte Anzeichen für bewohnte Gebiete zu erkennen, zumindest während der 45 Minuten langen Tage. Städte können schnell mit dem Hintergrund verschmelzen, außer die Astronauten wissen, auf was sie achten müssen. Lange, gerade Straßen und Bahnlinien, Ackerland und Dämme sind einfacher zu erkennen. Aber all dies ändert sich schlagartig, wenn die Sonne untergeht und die 45-minütige Nacht beginnt.

Dicht besiedelte Gebiete leuchten wie Lichtinseln in der Dunkelheit, wie dies auf dem nach Norden gerichteten Bild Siziliens bei Italiens Stiefel sichtbar ist, das von Paolo Nespoli, dem italienischen ESA-Astronauten, 2010 aufgenommen wurde. Das Mittelmeer erscheint schwarz, während Teile Tunesiens im Westen und die Adria im Osten sichtbar sind.

Lichter in der Nacht sind eine zuverlässige Spur menschlichen Lebens und Nachtfotos von Astronauten und unbemannten Satelliten (unten) wurden verwendet, um die Auswirkungen städtischer Entwicklung auf die Ökosysteme darzustellen.

Weitere Lichtquellen sind natürlichen Ursprungs, wie beispielsweise über Hunderte von Kilometern verbundene Gewitter mit Blitzen oder das Nordlicht über den Polen. Beachten Sie zudem das grünliche Glühen, das mit der empfindlichen Kamera aufgenommen wurde und von einem schwachen Leuchten in der oberen Atmosphäre und Sternen- und Kunstlicht stammt, das sich in den Luftpartikeln bricht.

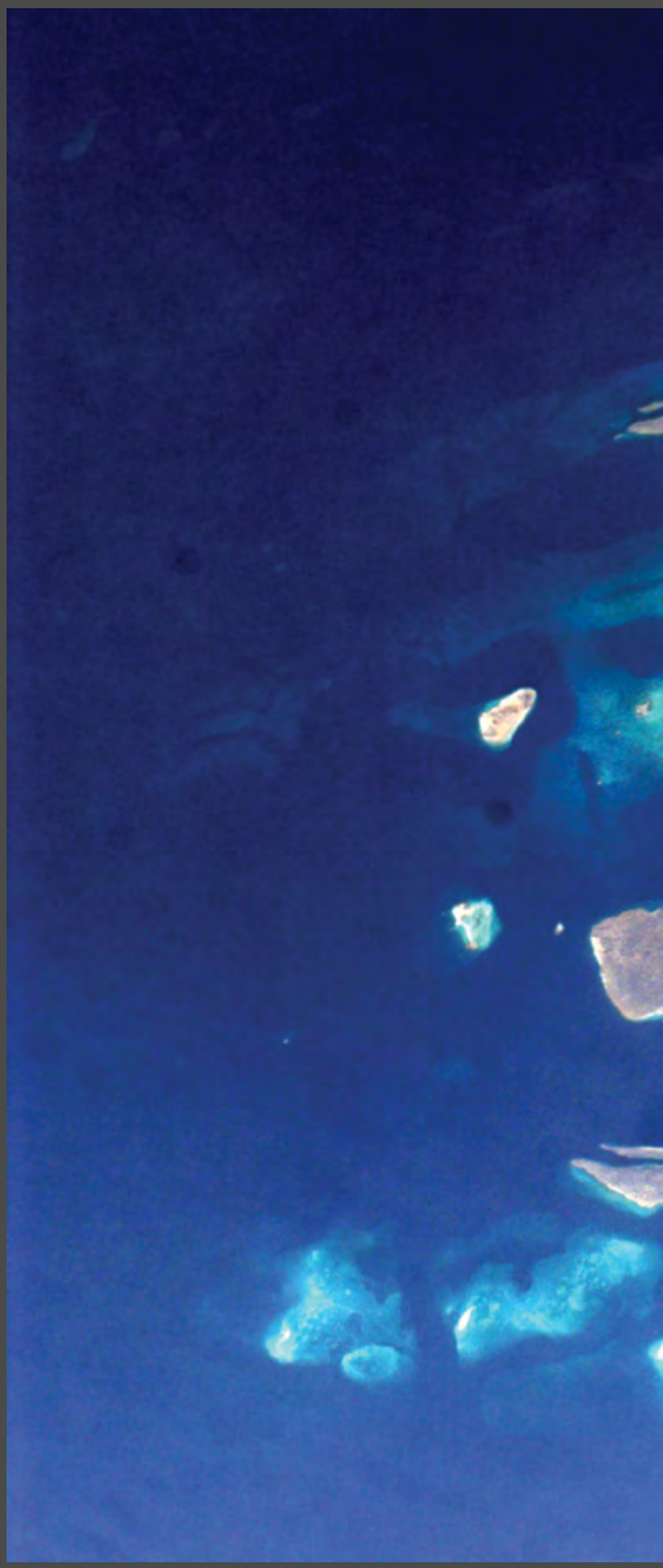
Blaue Juwelen im Roten Meer

Eigentlich sollte ein Bild der Erde, das automatisch von einem Satelliten aufgenommen wurde, und eines, das ein Astronaut gemacht hat, ziemlich gleich aussehen. Aber das menschliche Auge ist immer noch im klaren Vorteil, wenn es um Bildaufbau geht.

Dieses Foto zeigt die Farasan-Inseln im Roten Meer bei Dschaizan in Saudi-Arabien, aufgenommen von Paolo Nespoli. Der Korallenarchipel ist ein Naturreservat mit einer im Roten Meer Saudi-Arabiens einzigartigen Artenvielfalt: Hier leben 231 Fischarten, 49 Korallensorten, drei Arten Delfine und verschiedene brütende Seevögel.

Paolo hat während seines fünfmonatigen Aufenthaltes in der Internationalen Raumstation Tausende Fotos geschossen und diese über Twitter und Flickr geteilt. Er hat sogar Anfragen für Fotos angenommen.

So hat er sich über 20.000 Follower auf Twitter geschaffen, während seine Fotos auf Flickr über zwei Millionen Mal angesehen wurden. Er ist sogar ins Final der Shorty Awards 2010 in der Kategorie Wissenschaften gekommen, dem Äquivalent der Oscars für soziale Netzwerke.

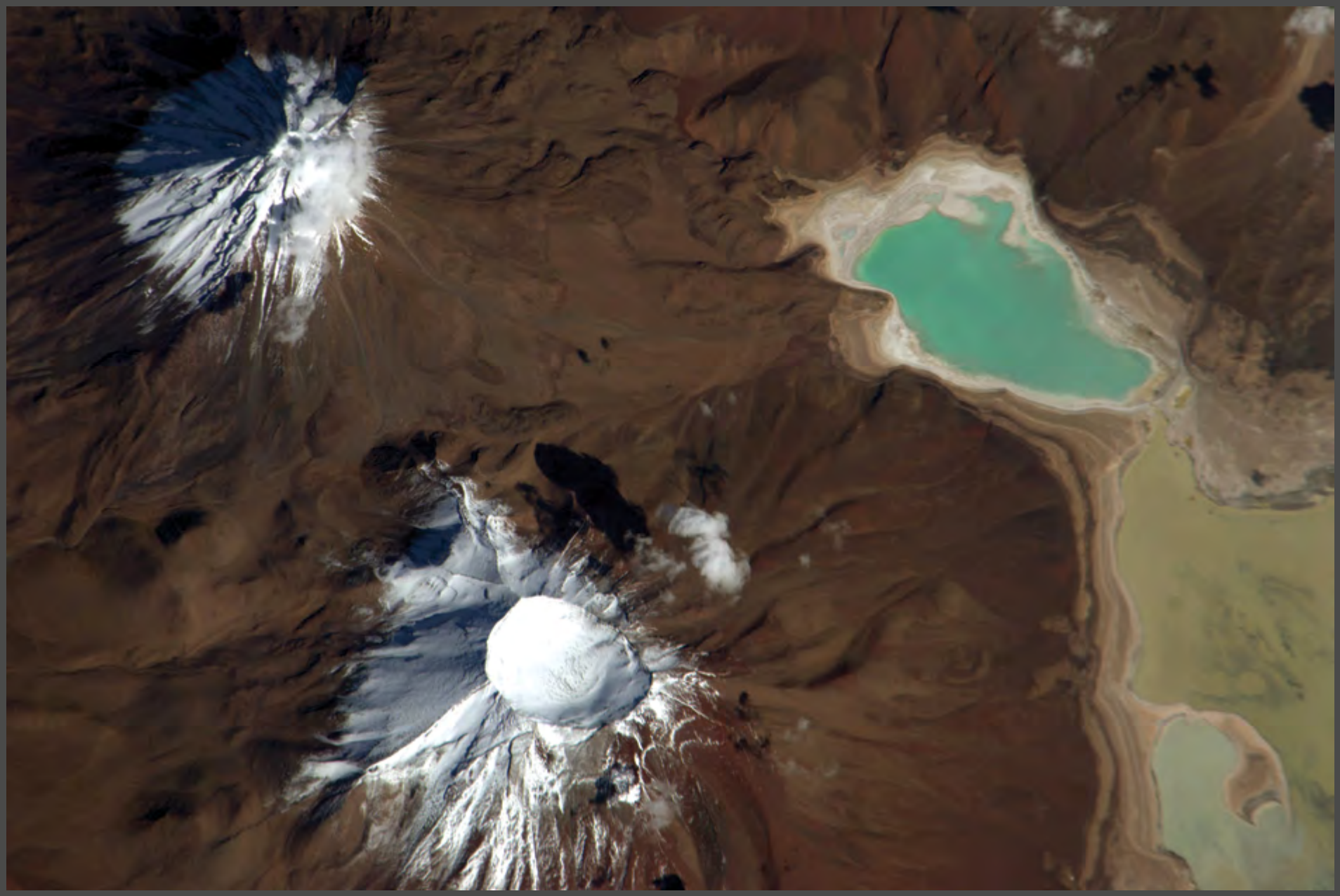


Schneebedecktes Hochland

Die Erde hat die wohl abwechslungsreichste Oberfläche im Sonnensystem, Resultat von Milliarden Jahren geologischer Aktivität, Atmosphärenwetter und biologischer Prozesse. Die große Vielfalt der Astronautenfotos zeigt dies klar. Manchmal kann man kaum fassen, dass all diese Bilder den gleichen Planeten zeigen.

Das Hauptbild, das 2011 von Paolo Nespoli aufgenommen wurde, zeigt die Schneegipfel von Licancabur und die kleineren Juriques Vulkane mit ihren 4000 Metern Höhe an der Grenze von Bolivien nach Chile. In der Nähe des Licancabur liegt die Laguna Verde, ein Salzsee, dessen grüne Farbe von den Kupfersedimenten stammt.

Das obere Bild ist Paolos Bild vom Zagros-Gebirge in der iranischen Provinz Fars, das von der Kollision der Eurasischen mit der Arabischen Platte gebildet wurde und sich vom Süden und Westen bis in den Norden Irans erstreckt. Besonders eindrücklich sind die schneebedeckten Gipfel. Das untere Bild zeigt Paolos Blick auf eine geographisch bekanntere Region, der Nordseite des Grand Canyons in Arizona, USA.



Ein Funkauge auf die Seefahrt

Weltweite Momentaufnahme des Schiffsverkehrs von der Internationalen Raumstation (unten). Die Umlaufbahn des Außenpostens läuft bis in polare Breiten und deckt einen Großteil des bewohnten Globus ab. Er dient als Plattform zur Erdüberwachung verschiedenster Art.

Hier hat das europäische Columbus-Labor das Automatic Identification System (AIS, mit der goldenen Antenne bei der Montage im Hauptbild) beherbergt, das normalerweise von Hafenbehörden und der Küstenwache verwendet wird, um die Küstenschifffahrt zu überwachen. Alle internationalen Schiffe, Personenschiffe und Frachtschiffe über 300 Tonnen müssen zwingend AIS VHF-Funktransponder mitführen. Am Boden reichen AIS-Meldungen nur ungefähr 50 Kilometer weit bis zum Horizont, aber dieser Test norwegischer und luxemburgischer Empfänger mit einer externen Antenne zeigt, dass die Signale vertikal viel weiter reichen: bis in die Umlaufbahn. So können einzelne Schiffe während Monaten verfolgt werden. In den verkehrsträchtigsten Schiffstraßen, wie beispielsweise dem Ärmelkanal oder der Straße von Malakka, verfälschen die AIS-Signale einander und die Schiffe gehen in der Masse unter. Aber die Stärke der AIS-Überwachung aus der Umlaufbahn liegt darin, bisherige blinde Flecken im offenen Ozean zu füllen. Die ESA studiert nun die Installation eines AIS-Erkennungsdienstes.

Abwärts

Nach der Mission sinkt die Sojus-Abstiegsstufe mit einem Fallschirm ab, um auf der flachen kasachischen Steppe zu landen. Derzeit ist Sojus die einzige Stationsraumfähre, die hin- und zurückkommt und so Experimente und Menschen zurück auf die Erde verfrachten kann.

Das ATV kann keinen Wiedereintritt in die Atmosphäre vornehmen, wobei zukünftige Varianten vorgeschlagen wurden, um die Kapazität für den Rücktransport von der Station aus nach der Shuttle-Ära zu optimieren. Nach sechs Monaten wird das ATV mit Tonnen Bordabfall beladen und dockt dann automatisch ab, ehe es, einem Kamikazeflug gleich, in der Atmosphäre verglüht (unten) und in einem leeren Gebiet im Südpazifik versinkt.

Jeder Wiedereintritt ist besser als gar keiner, obwohl der ESA-Astronaut Paolo Nespoli ihn nach dem friedlichen Weltall als raues Erlebnis beschreibt: „Es beginnt mit dem Wackeln der gesamten Kapsel, als ob jemand mit einem großen Hammer an die Seitenwand schlagen würde. Die Pyrotechnik ist im Gang und das Zentralmodul separiert sich vom Rest. Und dann wird es immer schneller … Am Hauptpunkt des Wiedereintritts erreichten wir 4,5 *g* und ich konnte kaum mehr atmen.“ Danach öffnen sich die Fallschirme und während 30 Sekunden rüttelt es in der Kapsel so, dass die Besatzung herumgeschleudert wird. Danach wird das Hitzeschild abgeworfen, die Sitze werden weiter geschüttelt und dann folgt die Landung. „Eine Reihe ziemlich heftiger Dinge, aber was soll ich sagen? Es ist zuverlässig, es funktioniert und wir sind zurück auf der Erde. Darüber bin ich froh.“

Ein Zeichen des Fortschritts

Wir können die Internationale Raumstation selber sehen. Suchen Sie den Himmel ungefähr eine Stunde nach Einfall der Dunkelheit nach ihr ab, wobei sich das Ganze eine Stunde vor Sonnenuntergang wiederholen lässt. Sie kommt von Westen und scheint einem Stern gleich, der von Horizont zu Horizont gleitet. Sie kann so hell wie Venus scheinen, wie beispielsweise auf dieser Aufnahme des holländischen Amateurfotografen Wim Joris, aber auf diesem Stern wohnen und arbeiten Menschen.

Ein gutes Teleskop verrät mehr, wie das Bild aus dem Jahr 2009 des holländischen Astronomen Ralf Vandebergh unten mit der japanischen Frachtfähre (links) beim Annähern an die in der Sonne glänzende Station zeigt.

Die Sonne reflektiert in den Modulen und Solarflügeln, weshalb die Station vom Boden her sichtbar ist. Oben am Himmel wird sie weiterhin von der Sonne beleuchtet, auch wenn die Sonne auf dieser Erdseite schon untergegangen ist, ähnlich den Berggipfeln, die noch hell leuchten, wenn das Tal schon lange im Dunkeln verschwunden ist.

Die Station benötigt ungefähr 90 Minuten, um eine Erdumrundung zu vollführen, weshalb sie manchmal mehr als einmal am Abend oder Morgen erblickt werden kann, wobei ihre Position am Himmel jeden Tag variiert. Alle sechs Wochen fliegt sie allerdings über jeden Ort auf der Erde.

Was darunter liegt

Die ESA-Astronauten werden möglicherweise zu Zielen vordringen, die weiter entfernt als die Raumstation liegen. Deshalb gucken sie manchmal nach unten statt nach oben, um realistische Gegenstücke für die Umgebung in der Umlaufbahn zu finden. 2011 hat dieses internationale Team europäischer, US-amerikanischer und russischer Astronauten während sechs Tagen als Teil ihres Überlebenstrainings ein Höhlensystem auf Sardinien erforscht. Tim Peake und Thomas Pesquet der ESA wurden von Randolph Bresnik der NASA, Norishige Kanai aus Japan und Sergey Ryzhikov aus Russland unterstützt.

Die Trainer des Astronautenausbildungszentrums wählten die Höhle aufgrund ihrer Isolation von der Außenwelt aus, weil hier ein Gefühl des Gefangenseins, minimale Privatsphäre, technische Herausforderungen und begrenzte Geräte und Ressourcen für Hygiene und Komfort herrschen, wie dies im Weltall ebenfalls der Fall ist.

Die tägliche Routine wurde mit Zeitbeschränkungen organisiert, als ob man sich auf einer Raumfahrtmission befinden würde. Planungssitzungen fanden zwei Mal am Tag über ein Telefon mit dem Support-Team am Höhleneingang statt. Das Höhlensystem umfasste verschiedene unbekannte Passagen, weshalb das Team eigene Entscheidungen treffen musste, wo man weiter gehen sollte: mit einem aufblasbaren Boot über einen Untergrundsee oder als geteiltes Team in verschiedene Gänge. Die wissenschaftliche Aufgabe bestand darin, Karten zu erstellen, Fotos zu machen, den Luftzug, die Temperatur und Feuchtigkeit zu überwachen und geologische und mikrobiologische Proben zu entnehmen.

Diese exotische Erfahrung half dabei, Kultur- und Sprachdifferenzen zu überwinden, um Probleme zu lösen. Als sie endlich wieder ans Tageslicht kamen, wurde der Einsatz detailliert besprochen und eine Präsentation für die nächsten „Höhlennauten“ erstellt.

Eisiges Vorspiel für die Erkundung

Das internationale Concordia-Forschungszentrum liegt an einer der höchsten Stellen des Antarktischen Eisschildes, dem Dome C auf 3200m über dem Meer. Hier liegt einer der abgeschiedensten und kältesten Orte der Erde. Während des antarktischen Winters kann der Außenposten nicht erreicht werden, da die Temperaturen auf –84 °C fallen. Die 14 Bewohner der Concordia müssen lernen, ohne Hilfe von der Außenwelt gemeinsam zu leben und zu arbeiten. Nur wenn der antarktische Sommer die raue Umgebung aufgewärmt hat, können frische Nachlieferungen und neues Personal herangeschafft werden.

Das Forschungsprogramm dieses einsamen Außenpostens umfasst Glaziologie, menschliche Biologie und die Atmosphäre, wobei die ESA die Basis als Vorbereitungsraum für zukünftige langandauernde Missionen – entfernt von der Erde – nutzt. Concordia ist der ideale Ort, um die Auswirkungen der Isolation in einer extrem feindlichen Umgebung auf kleine Teams zu studieren. Die ESA sponsert Forscher, um zu untersuchen, wie die Besatzung sich anpasst. Besonderes Interesse liegt bei den Schlafmustern, der Leistung jedes Einzelnen und des Teams sowie der sportlichen Betätigung. Geräte und Techniken werden ebenfalls evaluiert, die der Besatzung auf zukünftigen Missionen helfen könnten.

Die Arbeit baut auf früherer ESA-Forschung zu menschlichen Faktoren auf, insbesondere der Teilnahme am internationalen Mars500-Experiment 2011–12, bei dem zwei europäische Freiwillige mit einer internationalen Marsonauten-Crew (unten) eine Mission zum Mars simulierten, während sie 520 Tage in einer Kammer im russischen Institut für Biomedizinische Probleme in Moskau saßen. Die Studie half dabei, wichtige psychologische und physiologische Effekte zu studieren, die aus einer solch engen Umgebung während solch langer Zeit resultieren.

→ BRÜCKEN IN DIE UMLAUFBAHN

Es gibt keine offizielle Definition, wo der Weltraum beginnt, aber er ist näher als Sie vielleicht glauben. Die Internationale Raumstation kreist auf der gleichen Höhe wie Paris und London voneinander entfernt liegen. Wenn Sie mit einem Auto direkt nach oben fahren würden, hätten Sie die untersten Satelliten nach zwei Stunden erreicht.

Aber Höhe allein reicht nicht aus, um im Weltall zu bleiben. Die Anziehungskraft der Erde auf der Stationshöhe beträgt immer noch 9/10 dessen, was sie auf der Erde ist und würde Sie direkt zurück auf die Erde reißen. Ins Weltall zu gelangen bedeutet, eine Umlaufbahn zu erreichen und dazu müsste man mit dem Auto parallel zum Boden mit einer Geschwindigkeit von 8 km pro Sekunde fahren. Technisch gesehen fällt ein Objekt in der Umlaufbahn immer noch in Richtung Erde, bewegt sich aber seitwärts so schnell, dass es um den Horizont kreist und den Boden nie berührt.

Mit der aktuellen Technologie sind chemische Raketen die einzige Brücke in die Umlaufbahn. Ein Raketenstart ist eine Art kontrollierte Explosion, deren Schub nach unten gerichtet ist. Gemäß Isaac Newtons drittem Gesetz (*Actio = Reactio, jede Kraft hat ihre Gegenkraft*) fliegt die Rakete in Richtung Himmel. Dies erfordert eine große Menge an Energie: Die 53 Meter hohe Ariane 5 wiegt 780 Tonnen, aber mehr als 95 % davon sind Kraftstoff und Oxidationsmittel. So muss eine Rakete leere Zusatzantriebe und Raketenstufen beim Aufstieg abwerfen, um die Flugmasse systematisch zu reduzieren und die Geschwindigkeit erhöhen, damit sie die Umlaufbahn erreichen kann.

Ariane beim Aufstieg

Vor mehr als 40 Jahren entschieden einige europäische Regierungen, dass Europas Raumfahrtprogramm garantierten Zugang zum Weltraum brauchte und es Sinn machen würde, dieses Ziel mit vereinter Kraft zu erreichen. Dank dieser Weitsicht entwickelte Europa die Familie der Ariane-Trägerraketen und hat eine eigene Abschussrampe in Französisch-Guayana errichtet. Die erste Ariane 1 startete am Heiligabend 1979. Über 215 Arianes sind seither gestartet, wobei die Entwicklung über die Ariane 2, 3 und 4 bis zur Ariane 5 weiter ging.

Die Ariane hat sich zum Marktführer für den Transport aller kommerziellen Satelliten ins All entwickelt. Die neue europäische Vega-Rakete wurde für kleinere Nutzlasten entwickelt und die russische Sojus sollte am europäischen Weltraumbahnhof in Französisch-Guayana für mehr Flexibilität und Wettbewerbsfähigkeit sorgen.

Ein Privatunternehmen, Arianespace, betreibt die Trägerraketenfamilie, wobei die ESA eine technische Entwicklungsrolle einnimmt, was für die Zukunft auch eine neue Trägerrakete der nächsten Generation umfasst.

Rücksprache

Beinahe alle ESA-Starts verlassen die Erde und kommen nie zurück, aber sind mit ihr über eine andere Brücke verbunden: per Funk. So erhalten die Bodenteams die Kontrolle und die Raumschiffe senden ihre wertvollen Informationen zurück zur Erde.

Die Breitbandkapazität und die Möglichkeit, die Erdatmosphäre frei zu durchdringen, bedeutet, dass Funksignale das Rückgrat aller Weltraumkommunikation sind, wobei ein Netzwerk von Bodenstationen über den ganzen Globus verteilt ist, um die Satelliten in verschiedenen Umlaufbahnen zu nutzen. Je größer die Funkantenne, umso besser können weiter entfernte Raumschiffe erreicht werden.

Der erste Satellit, Sputnik, konnte nicht mehr als ein einfaches Biep-Biep zurück an die Welt schicken. Mehr als fünf Jahrzehnte später könnten sich Raumfahrtmissionen in der Vielzahl der Daten verlieren, die von den Satelliteninstrumenten der nächsten Generation erzeugt werden. Die Planer einer Mission müssen immer mehr mit einbeziehen, wie diese außerordentliche Masse an Ergebnissen zurück auf die Erde gelangt. Die für eine Mission verfügbare Bandbreite wird aus der Antennengröße, Transmitterleistung und Eigenschaften der zuständigen Bodenstationen berechnet. Während es im Weltraum immer geschäftiger wird, ist Bandbreite ein zunehmend rares Gut, wobei traditionelle Kanäle zunehmend überfüllt sind. Das Teilen von Frequenzen und andere Methoden haben aber auch ihre Grenzen.

Irgendwann ist der Punkt erreicht, an dem die Erhöhung der Anzahl der Bodenstationen ineffizient wird. Die Weiterleitung von Kommunikation via Satelliten ist eine weitere Möglichkeit, die Verbindungsfähigkeit der Bodenstationen zu erhöhen. Das europäische Datenrelaissystems der ESA wird diese Lösung ausgiebig testen. Eine weitere, direktere Methode ist, die Ergebnisse einer Mission auf eine überschaubarere Anzahl zu reduzieren, indem die Daten an Bord komprimiert werden, ehe sie an die Erde übertragen werden.

Startbereit

Eine Ariane 5-Rakete vor dem tropischen Himmel in Französisch-Guayana umgeben von dichtem Dschungel. Der Mast daneben ist einer von vier Blitzableitern, der sie bei Gewittern schützt. Der europäische Weltraumbahnhof befindet sich nur gerade 500 Kilometer nördlich des Äquators, wobei die Trägerraketen hier noch mehr Geschwindigkeit aus der Erddrehung beziehen können.

Dies ist das Fahrzeug, das die Rosetta-Kometensonde am 2. März 2004 startete, das erste Mal, das eine Ariane eine Nutzlast auf eine Flugbahn entließ, die weg von unserem Planeten führt.

Die kryogene Hauptstufe der Ariane 5 trägt flüssigen Wasser- und Sauerstoff, um den Hauptmotor anzutreiben, zusammen mit zwei Feststoffraketen, die mehr als 90 % des gesamten Antriebs in den ersten 130 Sekunden des Flugs erzeugen. Die erste Stufe kann entweder mit einer oberen Stufe mit speicherbarem Treibstoff oder mit kryogenem Kraftstoff komplettiert werden, die den Flug über die Atmosphäre hinaus ermöglicht, um so verschiedene Missionen von der unteren Umlaufbahn auf geostationäre Umlaufbahnen oder weiter zu beginnen. Das Gerätedock oben an der Hauptstufe enthält den Bordcomputer, der die Trägerrakete bis in die vorgesehene Umlaufbahn steuert, dies mit einer Genauigkeit, die nur wenige Mitbewerber erreichen. Dies spart Kraftstoff des Satelliten beim Erreichen der endgültigen Betriebsposition. Diese Einsparung kann die Lebensdauer eines Satelliten um beinahe ein Jahr verlängern.

Die Abbildung im Kasten zeigt eine Abschussrampe für Ariane-5-Raketen mit zwei Flammenschächten, die nach der Zündung heiße Abgase des Feststoffantriebs wegleiten. Die Schächte sind mit 8 cm dicken Edelstahlplatten beschichtet, um den Beton zu schützen und die Reparaturarbeiten nach einem Start möglichst gering zu halten.

Zwei Ariane 5 Varianten werden derzeit gebaut: die Ariane 5 ECA (mit kryogener Hauptstufe) für bis zu 10 Tonnen in geostationäre Umlaufbahnen und die Ariane 5 ES (mit einer oberen Stufe mit speicherbarem Treibstoff) für bis zu 20 Tonnen in untere Umlaufbahnen, beispielsweise für das Automated Transfer Vehicle der ESA oder die potenzielle gleichzeitige Beförderung von vier Galileo-Navigationssatelliten in eine mittlere Umlaufbahn.

esa
cnes
esa
cnes

Flug mit Feuer

Eine Ariane 5 beim Aufstieg in einer Rauchsäule direkt nach dem Start (rechts). Der Rauch stammt hauptsächlich von den Feststoffantrieben, die in diesem Moment für den meisten Antrieb sorgen. Nach einer anfänglich vertikalen Flugbahn beginnt die Rakete sich zu neigen und in Richtung Osten über den Atlantik zu fliegen.

Diese Ansicht des Fluges V164 vom 23. Februar 2005 wurde vom Kommunikationszentrum auf dem Gipfel des Pariacabo aufgenommen, der sich ungefähr 15 Kilometer von der Abschussrampe befindet. Diese Antriebe werden nach ungefähr 130 Sekunden oder 65 km abgeworfen, während die Hauptstufe mit 150 Tonnen Flüssigsauerstoff und 25 Tonnen Flüssigwasserstoff während ungefähr 540 Sekunden brennt. Bei der Abschaltung auf einer Höhe zwischen 160 und 210 km je nach Mission trennt sich die Hauptstufe und tritt über dem Atlantik wieder in die Atmosphäre ein, wobei die obere Stufe in Richtung Weltraum weiterfliegt.

Je nach Orbitalposition startet die Ariane 5 in der Nacht statt am Tag wie unten abgebildet. Augenzeugen beschreiben solche Starts als Sonnenaufgang mitten in der Nacht.

Starker Rivale

Die Betonabschussrampe in ELA-1 beherbergte einst Ariane 1 Trägerraketen für ihren Flug in die Umlaufbahn, wurde aber für die heutigen Raketen umgebaut.

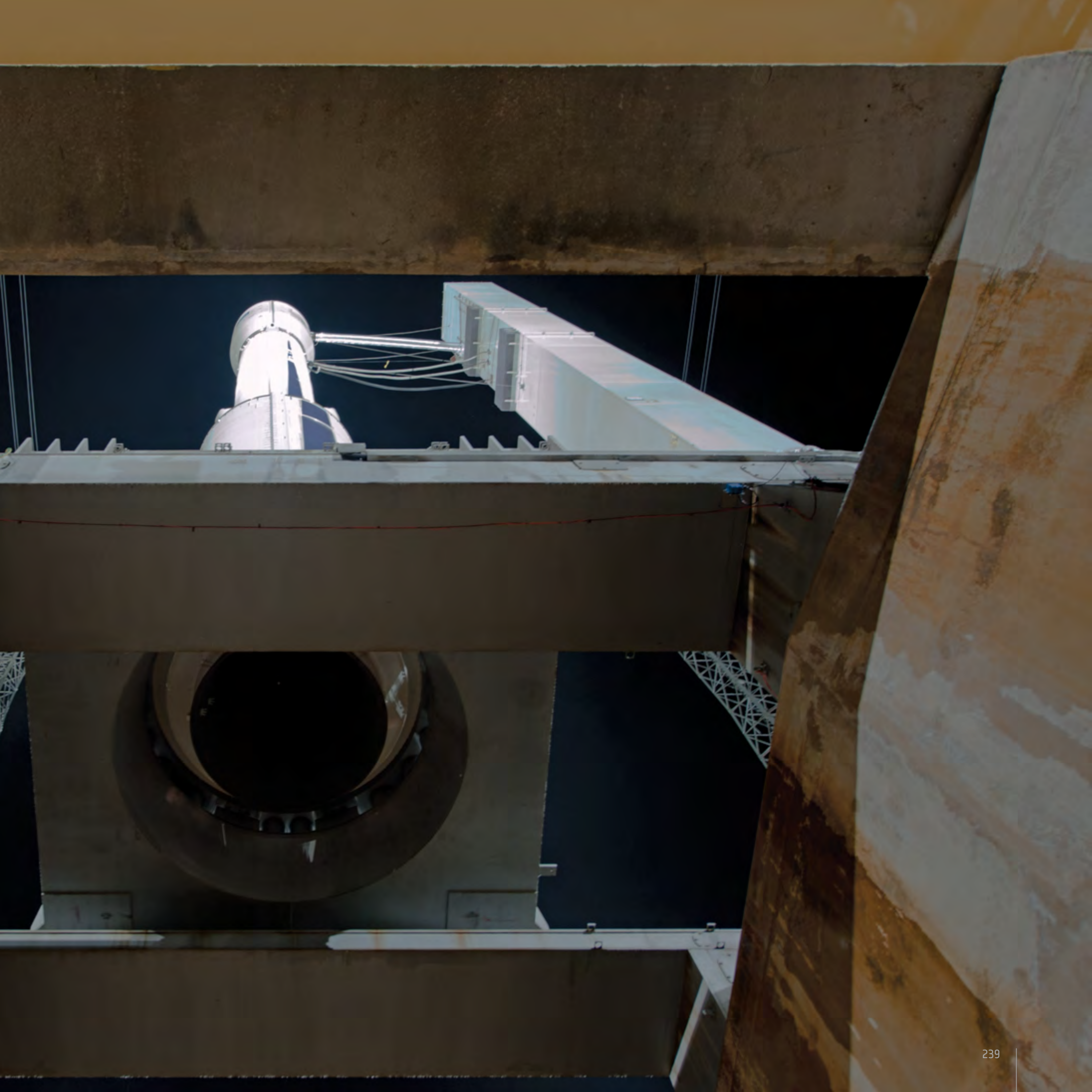
Je moderner die Raumfahrttechnologie wird, desto kleiner werden die Satelliten. Die Vega-Trägerrakete der ESA, die am 13. Februar 2012 zum ersten Mal startete, wurde speziell dafür entwickelt, dem wachsenden Satellitenmarkt gerecht zu werden und mehrere Satelliten gleichzeitig transportieren zu können.

Vega kann Nutzlasten zwischen 300 und 2500 kg tragen, je nach Typ und Höhe der erforderlichen Umlaufbahn. Der Grenzwert liegt bei 1500 kg für eine Polumlaufbahn auf 700 km Höhe, wobei die Trägerrakete die zukünftigen ESA-Missionen wie LISA Pathfinder, ADM-Aeolus und Sentinel-2 und -3 für die Copernicus Erdüberwachungsmission tragen wird.

Das Design von Vega wurde von jahrzehntelanger Erfahrung im Bau und Flug von Ariane-Raketen bestimmt. Die ersten drei Feststoffstufen wurden von den Feststoffboostern der Ariane 5 abgeleitet. Eine wiederzündbare vierte Stufe mit Flüssigtreibstoff sorgt dafür, dass die Nutzlasten von Vega in die Umlaufbahn kommen, und enthält die Avionik und Düsen, um die Steuerbarkeit während des ganzen Fluges zu ermöglichen.

Vega enthält zudem eine breite Anzahl neuer Materialien, um das Eigengewicht so optimal wie möglich zu halten: Je leichter sie selber ist, desto mehr Nutzlast kann mitgeführt werden. Insbesondere die Hülle der Vega ist aus Kohlenstofffasern mit Polymerverstärkung hergestellt, ein Material, das typischerweise für das Herzstück von Telekommunikationssatelliten, auf denen die Nutzlast aufliegt, oder Formel-1-Autos verwendet wird.

Das daraus entstehende Fahrzeug ist drei Mal leichter als eine Metallrakete, aber das Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht ist ungefähr fünf Mal besser als bei Stahl oder Aluminium. Andere neuartige Materialien sind Kohlenstoff/Kohlenstoff- und Kohlenstoff-Phenolharz-Komposita, aus denen die wichtigen Düsen des Stufentrios dieser Rakete bestehen.



Südamerikanische Sojus

Diese Sojus ist vor dem Start um die halbe Welt gereist. Die Rakete steht auf ihrem mobilen Gerüst auf der Abschussrampe in ihrem neuen Zuhause am europäischen Weltraumbahnhof in Französisch-Guayana.

Die Sojus ist das Arbeitstier des russischen Weltraumprogramms, seit den 1960er-Jahren stets in Produktion und was das Design angeht ein Abkömmling der Rakete, die Sputnik 1957 ins All trug und die Weltraumära einläutete. Als Trägerrakete der Mittelklasse komplementiert die Sojus in Französisch-Guayana die Ariane 5 und die kleinere Vega, um so die Flexibilität und Wettbewerbsfähigkeit des europäischen Weltraumbahnhofs zu erhöhen.

Für Starts in Französisch-Guayana wird diese dreistufige Rakete sowie normalerweise eine obere Fregat-Stufe wie in Russland horizontal zusammengefügt und dann aufgestellt, sodass die Nutzlast von oben, wie es europäischem Standard entspricht, montiert werden kann. Ein neues mobiles Gerüst hilft bei diesem Vorgang und schützt die Satelliten und die Rakete vor dem feucht-tropischen Klima.

Französisch-Guayana liegt nahe am Äquator, weshalb die Sojus von der Erddrehung profitieren kann und somit mehr Ladung in geostationäre Umlaufbahnen bringen kann: 1,7 bis 3 Tonnen.

Observatorium auf der Insel

Dieses Cine-Teleskop (links) mit weißer Kuppel inmitten der Ruinen der Strafkolonie auf der Île Royale etwas vor der Küste Französisch-Guayanas überwacht den Flug der Trägerraketen, die vom europäischen Weltraumbahnhof starten. Hier wird alles gefilmt, bis die Rakete nicht mehr sichtbar ist, auch der Abwurf der Feststoffantriebe, die Separation der Stufen und mögliche Anomalien. Die Videos im sichtbaren und infraroten Bereich werden anschließend von Arianespace und den Herstellerpartnern analysiert. Für Ariane 5-Starts ist der am häufigsten sichtbare Event die Trennung der Nutzlastverkleidung auf 110 Kilometern Höhe nach drei Minuten Flug, die die Nutzlast vor Atmosphärenturbulenzen schützt.

Diese Ruinen sind Zeugen, dass Französisch-Guayana, heute ein wichtiger Startpunkt für Reisen weg vom Planeten, damals das Ende der Welt für Generationen Strafgefangener bedeutete. Der berühmte Offizier Alfred Dreyfus wurde hier auf der benachbarten Teufelsinsel in Einzelhaft gehalten, wobei diese mit der Île Saint-Joseph ein Inseltrio bildet, das als Îles du Salut bekannt ist. Mit Ihrer Lage direkt unter der Flugbahn der Kourou-Trägerraketen wurden die Inseln in den 1960er-Jahren zum Eigentum der französischen Raumfahrtbehörde CNES. Die Agentur hat die Ruinen der Strafkolonie in den 1980-Jahren renoviert. Heute sind die Inseln eine Touristenattraktion und ein Naturreservat. Der Wald auf diesem Bild ist Lebensraum vieler Affen und verbirgt gleichzeitig den Gefängnisfriedhof.

Während das Cine-Teleskop das Visuelle aufzeichnet, überwachen verschiedene Bodenstationen weltweit die Telemetrie der Trägerrakete: von Kourou über Brasilien, die Insel Ascension mitten im Atlantischen Ozean und Gabun in Westafrika bis Kenia in Ostafrika.

arianespace
01:15

Funkverbindung zur Umlaufbahn

ESAs Antenne mit 15 Metern Durchmesser in Kourou blickt am 14. Mai 2009 himmelwärts beim Start einer Ariane 5, die Herschel und Planck trägt.

Die ESA-Missionen, die in Richtung Umlaufbahn oder in das Sonnensystem fliegen, bleiben mit unsichtbaren Funkverbindungen mit dem Heimatplaneten verbunden: Dafür sorgt das Netzwerk der ESA-Bodenstationen, Estrack genannt, auf der ganzen Welt.

Die wichtigste Aufgabe der ESA-Trackingstationen ist es, mit Europas Missionen zu kommunizieren und die Kommandos hoch- und die wissenschaftlichen Daten sowie den Status des Raumfahrzeugs herunterzuladen. Die Estrack-Stationen sammeln ebenfalls radiometrische Daten, um Missionsbetreibern den Standort, Flugbahn und Geschwindigkeit ihres Raumfahrzeugs mitzuteilen. Die Stationen bieten zusätzliche Dienstleistungen, wie beispielsweise die Suche und Erfassung neu gestarteter Raumsonden, Frequenz- und Zeitkontrollen mit Atomuhren sowie das Sammeln von Atmosphären- und Wetterdaten durch die Signalanalyse. Es gibt 10 Estrack-Hauptstationen, die falls nötig von anderen Stationen ergänzt werden. Die ESA-Stationen unterstützen als Gegenleistung internationale Partnermissionen und die ESA spielt eine wichtige Rolle dabei, neue technische Standards zu setzen, die das Aufteilen von Daten zwischen den Stationen, Raumfluggeräten und Netzwerken auf der Erde und im Weltall ermöglichen. Ungefähr 5 Kilometer vom Startkomplex der Ariane 5 liegt die hier abgebildete Kourou-Station, die vom European Space Operations Centre (ESOC) in Darmstadt, Deutschland, bedient wird und Tracking- und Kommandofunktionen für alle Phasen der ESA-Missionen übernimmt.

Große Schüssel

Die neue Deep-Space-Bodenstation mit ihrer 35-Meter-Durchmesser-Schüssel begann Ende 2012 mit ihrem Betrieb und vervollständigt die komplette Himmelsabdeckung zusammen mit den existierenden Deep-Space-Stationen in New Norcia in Australien und Cebreros in Spanien, die 2002 und 2005 in Betrieb genommen wurden. Zusammen bieten sie die europäische Deep-Space-Tracking-Kapazität, wobei sie die Estrack-Stationen mit ihren hauptsächlich 15-Meter-Durchmesser Antennen für erdnahe Umlaufbahnen ergänzen. Die 35-Meter-Stationen bieten eine optimierte Reichweite, Funktechnologie und verbesserte Datenraten, die für aktuelle und zukünftige Wissenschaftsmissionen wie Mars Express, Venus Express, Rosetta, BepiColombo, Solar Orbiter, Euclid und Juice nötig sind.

Deep-Space-Missionen fliegen normalerweise Hunderte von Millionen Kilometern von der Erde weg und die Kommunikation für solche Distanzen erfordert eine genaue mechanische Ausrichtung. Im August 2012 unterstützte Estrack mit Mars Express als Relaisstation den NASA-Rover des Mars Science Laboratory bei der Landung auf dem Mars. Im Januar 2014 wurde die Kommunikation mit Rosetta wieder hergestellt, als das Raumschiff aus dem Ruhemodus aufwachte und die Umlaufbahn um den Kometen 67P/Tschurjumow-Gerasimenko einnahm.

esa
esoc
european space operations centre
073 13:43:18
+ 006:39:46

Kontrollzentrum

Der Hauptkontrollraum ist das Herz des Europäischen Raumflugkontrollzentrum (European Space Operations Centre, ESOC) in Darmstadt, Deutschland.

Hier überwachen Teams die dramatischen Events, die zum Fortschritt jeder Mission gehören, sobald sich diese von der Rakete gelöst hat: vom kritischen Start bis zum Eintritt in die vorläufige Umlaufbahn, wenn die eigentliche Mission beginnt, oder natürlich komplexe Manöver wie Asteroiden-Vorbeiflüge oder neue Umlaufbahnen um unbekannte Welten.

Für Routineoperationen arbeiten die Betreiberteams aus spezialisierten Kontrollräumen, von wo aus sie die Erdbeobachtungs-, Astronomie- und Deep-Space-Sonden 365 Tage im Jahr beobachten, Kommandos planen und hochladen und einen zuverlässigen Datenfluss zurück zu den Wissenschaftlern und der Nutzergemeinschaft sicherstellen. Betreiberteams interagieren täglich mit den Estrack-Stationen und müssen sich auf wichtige Unterstützung von Navigations-, Netzwerk- und Flugdynamikspezialisten verlassen können. Missions-Analysten arbeiten an zukünftigen Missionen und analysieren, wie Satelliten die wissenschaftlichen Ziele in unserem Sonnensystem am besten erreichen können.

Seit 1967 hat das ESOC mehr als 60 ESA-Missionen betrieben und über 50 Satelliten unterstützt, die von europäischen und internationalen Partnern geflogen wurden. Der Erfolg des Zentrums ist nicht nur der technischen Expertise zu verdanken, sondern, was vielleicht sogar noch wichtiger ist, dem individuellen Einsatz und der Teamarbeit, die wir seit Jahrzehnten pflegen. Das ESOC ist das Zentrum der Agentur für Missionsbetrieb, Flugdynamik, Bodenstationsdesign, Ingenieursarbeit und Betrieb, das Entwickeln der Missionssteuerungssoftware, Studien zu Raumtrümmern und noch vieles mehr.

In enger Zusammenarbeit mit der europäischen Industrie erarbeiten Ingenieure stets bessere Technologie, wobei viele der Konzepte zuerst bei ESOC getestet werden und später für die kommerzielle Verwendung öffentlich gemacht werden. Die Navigationsanlage von ESOC ist eine der weltweit renommiertesten Quellen für Geodaten für wirtschaftlich wichtige Navigationsdienstleistungen.

Heute hat ESOC einen einzigartigen und beneidenswerten Ruf als Exzellenzzentrum für den Betrieb von Missionen und spielt bei zukünftigen Weltraumprogrammen und -missionen eine Hauptrolle.

Immer auf der Hut

Der klare Himmel auf Teneriffa macht die Insel zu einem bedeutenden Ort für astronomische Observatorien. Die Anlage der ESA auf einer der größeren Kanarischen Inseln in Spanien ist allerdings eine Ausnahme: Die Teleskope blicken nicht weit ins All, sondern nur in die erdnahe Umlaufbahn.

Die optische Bodenstation ist ein einzigartiger Bestandteil der weltweiten Bodenstationen, wobei astronomische Beobachtungen genutzt werden, um die vom Menschen gemachten Satelliten zu überwachen. Auf 2400 Metern Höhe im Observatorium am Vulkan Teide liegt die Station, die ursprünglich Ende der 1990er-Jahre gebaut worden war, um um einen experimentellen Laserkommunikations-Link mit dem Artemis-Telekommunikationssatelliten der ESA zu testen. Sie blieb in Betrieb und diente anderen Missionen mit Laserkommunikation, wie der SMART-1 Mondmission der ESA. Zudem stellte sie den Weltrekord in Laserquantenkommunikation mit 150 Kilometern Distanz zwischen Teneriffa und La Palma auf.

Die Station bietet verschiedene Anwendungen, darunter Raumtrümmerüberwachung, Atmosphärensondierung und astronomische Beobachtungen. Während Weltraummüll in niedrigen Umlaufbahnen am besten mit Radar überwacht wird, sind weiter entfernte Objekte optisch besser verfolgbar. Es wurde ein besonderes CCD-Array mit breitem Sichtfeld und 16 Millionen Pixeln entwickelt, das von flüssigem Stickstoff gekühlt wird. Regelmäßige Überwachungen haben einen umfassenden Trümmerkatalog ermöglicht, der die ESA weltweit führend in diesem wichtigen Bereich macht.

Die Anlage spielt für die Weltraumlageerfassung (Space Situational Awareness – SSA) eine wichtige Rolle, bei der es darum geht, unser Verständnis von Weltraumgefahren wie Trümmern in der Umlaufbahn und nahen Asteroiden zu verbessern.

→ WEGBEREITUNG

Weltraumfahrzeuge sind die komplexesten Maschinen die je gebaut wurden, sie müssen der extremen Beschleunigung, Vibration und akustischen Strapazen eines Raketenstarts trotzen und das Hochvakuum, die Schwerelosigkeit, die extremen Temperaturen und die hohe Strahlung im Weltall während mehrerer Jahre aushalten, wobei Wartungsarbeiten keine Option sind.

Die ESA hat mehr als 70 Raumfahrtmissionen entwickelt, getestet und geflogen, wobei sechs Trägerraketentypen zum Zug kamen. Der Umfang der Leistungen der ESA ist noch größer, wenn man ihren Status als Forschungs- und Entwicklungsorganisation bedenkt. Die ESA ist nicht für Routinearbeiten da. Jede neue Mission ist ein entscheidender technischer oder wissenschaftlicher Schritt in die Zukunft, aufbauend auf den erreichten Resultaten. In vielen Fällen basieren zukünftige Missionen auf Technologien, die noch nicht existieren.

Verschiebung der Grenzen des Möglichen

Wie schafft die ESA das? Die europäische Industrie ist für den Entwurf und den Bau der Missionen verantwortlich, aber die ESA leistet wichtige Führungs-, Koordinations- und Überwachungsarbeit. Jede neue Raumfahrtmission entsteht aus einer neuen Idee nach Erforschung oder Anwendung, sie kommt von Forschungsinstitutionen oder der Industrie, wonach ESA-Ingenieure, die sich auf jeden Aspekt der Weltallumgebung spezialisiert haben, die Machbarkeit studieren und die Entwicklung überwachen.

Pläne Realität werden zu lassen erfordert einen steten Innovationsfluss, der dank Forschungsverträgen mit der Wirtschaft möglich ist. Neue Technologien werden sorgfältig gemäß der *Technology Readiness* Level-Leiter getestet, von TRL 1, einer vielversprechenden Idee, bis TRL 9, der Bereitschaft für den Flug in den Weltraum. Aber jeweils eine Treppenstufe hochklettern zu können erfordert mehr und mehr sorgfältige Tests und Qualifikation. Das langjährige Basic Technology Research Programme der ESA erforscht neue Konzepte, während das nachfolgende General Support Technology Programme die daraus erzielten Prototypen in flug- und marktbereite Produkte verwandelt. Einzelne ESA-Abteilungen unterstützen falls nötig zudem auch ihre eigene Technologieentwicklung.

Strategien zur Entwicklung der Technologie

Der Prozess wird von ESA-Experten überwacht, von detaillierten Forschungs- und Entwicklungs-

programmen geleitet und mit anderen europäischen Einrichtungen koordiniert. Die ESA hilft durch die Mitgliedschaft bei der European Cooperation for Space Standardization ebenfalls mit, gemeinsame Arbeitsstandards für die europäische Weltraumindustrie zu entwickeln, und erstellt eine Liste qualifizierter Teile für Weltraummissionen, die bei der European Space Components Coordination eingesehen werden kann. Die Menge und Qualität der europäischen Teile und Bauteile für Raumfahrtmissionen wird mit der European Components Initiative noch erweitert. Die ESA arbeitet zusammen mit nationalen Raumfahrt-agenturen und ähnlichen Organisationen wie beispielsweise der Europäischen Verteidigungs-agentur, um sicherzustellen, dass die europäische Unabhängigkeit nicht durch zu viel Vertrauen in ausländische Zulieferer in Gefahr gerät.

Missionsunterstützung

Zur Unterstützung einzelner Missionen helfen ESA-Spezialisten bei der Entscheidung, woraus ein Raumschiff gebaut werden soll. Mögliche Materialien und Teile können in den ESA-Labors des Technikzentrums ESTEC oder in einem der externen Partnerlabors in Europa getestet werden. Dabei werden sie mit Strahlung bombardiert, einer Kraft-, Vibrations- oder Temperaturüberprüfung ausgesetzt, in ein weltraumartiges Vakuum gesetzt oder bei großer Gravitation während Tagen und Wochen herumgeschleudert. Das ESTEC-Testzentrum kombiniert einzigartige Testanlagen für Weltraummissionen, die die Start- oder Weltraum-bedingungen simulieren. Es handelt sich dabei um das größte Zentrum dieser Art in Europa und eines der größten auf der Welt.

Technisches Herz

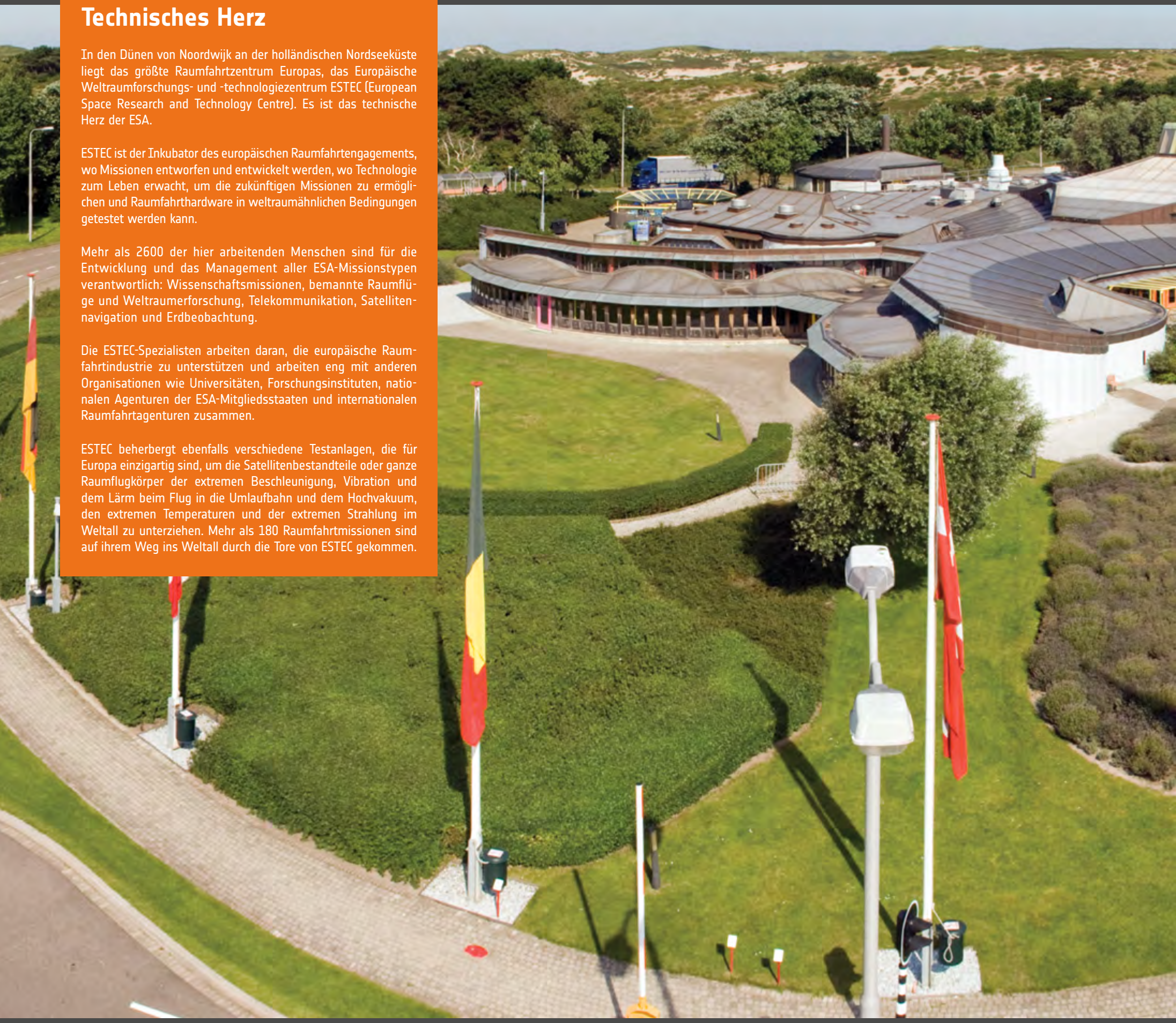
In den Dünen von Noordwijk an der holländischen Nordseeküste liegt das größte Raumfahrtzentrum Europas, das Europäische Weltraumforschungs- und -technologiezentrum ESTEC (European Space Research and Technology Centre). Es ist das technische Herz der ESA.

ESTEC ist der Inkubator des europäischen Raumfahrtengagements, wo Missionen entworfen und entwickelt werden, wo Technologie zum Leben erwacht, um die zukünftigen Missionen zu ermöglichen und Raumfahrthardware in weltraumähnlichen Bedingungen getestet werden kann.

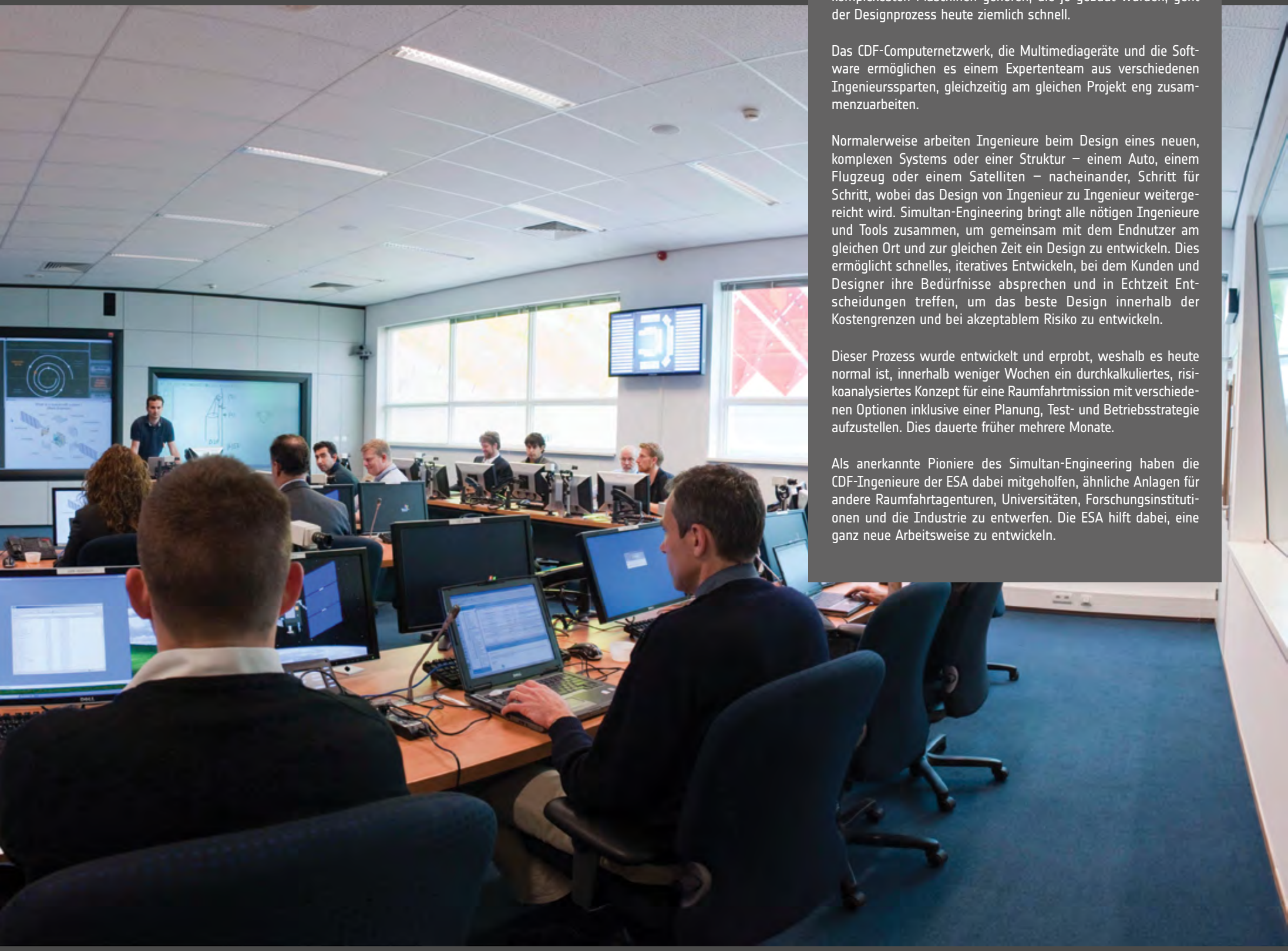
Mehr als 2600 der hier arbeitenden Menschen sind für die Entwicklung und das Management aller ESA-Missionstypen verantwortlich: Wissenschaftsmissionen, bemannte Raumflüge und Weltraumerforschung, Telekommunikation, Satellitennavigation und Erdbeobachtung.

Die ESTEC-Spezialisten arbeiten daran, die europäische Raumfahrtindustrie zu unterstützen und arbeiten eng mit anderen Organisationen wie Universitäten, Forschungsinstituten, nationalen Agenturen der ESA-Mitgliedsstaaten und internationalen Raumfahrtagenturen zusammen.

ESTEC beherbergt ebenfalls verschiedene Testanlagen, die für Europa einzigartig sind, um die Satellitenbestandteile oder ganze Raumflugkörper der extremen Beschleunigung, Vibration und dem Lärm beim Flug in die Umlaufbahn und dem Hochvakuum, den extremen Temperaturen und der extremen Strahlung im Weltall zu unterziehen. Mehr als 180 Raumfahrtmissionen sind auf ihrem Weg ins Weltall durch die Tore von ESTEC gekommen.



Mission analysis



Missionen, die Formen annehmen

Jede ESA-Raumfahrtmission wird aus einer neuen Idee für Erforschung oder Anwendung geboren. Diese anfänglichen Ideen nehmen hier in der ESTEC Concurrent Design Facility (CDF) Formen an. Wenn man bedenkt, dass Weltraumfahrzeuge zu den komplexesten Maschinen gehören, die je gebaut wurden, geht der Designprozess heute ziemlich schnell.

Das CDF-Computernetzwerk, die Multimediageräte und die Software ermöglichen es einem Expertenteam aus verschiedenen Ingenieurssparten, gleichzeitig am gleichen Projekt eng zusammenzuarbeiten.

Normalerweise arbeiten Ingenieure beim Design eines neuen, komplexen Systems oder einer Struktur – einem Auto, einem Flugzeug oder einem Satelliten – nacheinander, Schritt für Schritt, wobei das Design von Ingenieur zu Ingenieur weitergereicht wird. Simultan-Engineering bringt alle nötigen Ingenieure und Tools zusammen, um gemeinsam mit dem Endnutzer am gleichen Ort und zur gleichen Zeit ein Design zu entwickeln. Dies ermöglicht schnelles, iteratives Entwickeln, bei dem Kunden und Designer ihre Bedürfnisse absprechen und in Echtzeit Entscheidungen treffen, um das beste Design innerhalb der Kostengrenzen und bei akzeptablem Risiko zu entwickeln.

Dieser Prozess wurde entwickelt und erprobt, weshalb es heute normal ist, innerhalb weniger Wochen ein durchkalkuliertes, risikoanalysiertes Konzept für eine Raumfahrtmission mit verschiedenen Optionen inklusive einer Planung, Test- und Betriebsstrategie aufzustellen. Dies dauerte früher mehrere Monate.

Als anerkannte Pioniere des Simultan-Engineering haben die CDF-Ingenieure der ESA dabei mitgeholfen, ähnliche Anlagen für andere Raumfahrtagenturen, Universitäten, Forschungsinstitutionen und die Industrie zu entwerfen. Die ESA hilft dabei, eine ganz neue Arbeitsweise zu entwickeln.

Der Weltraum ganz klein

Eine Thermal-Vakuum-Kammer simuliert die Luftlosigkeit und die extremen Temperaturen des Weltraums. Die Abbildung zeigt Kandidaten-Solarzellen, die für die Beleuchtungstests für die BepiColombo-Mission zum Merkur vorbereitet werden.

Die größte Ressource des ESTEC ist das Know-how der Mitarbeiter, das über 50 Jahre Planung von Raumfahrtmissionen umfasst. Spezialistenteams in Noordwijk beziehen jeden Aspekt einer Weltraumumgebung in ihre Arbeit mit ein.

Der Weltraum ist ein unbekannteres und viel schwierigeres Umfeld als der Alltag auf der Erde. Um in die Umlaufbahn zu gelangen, braucht es Beschleunigung, Vibration und Lärm. Raumschiffe müssen danach Vakuum, Schwerelosigkeit, extremen Temperaturschwankungen und großer Strahlung standhalten können, wobei sie jahrelang ohne Wartungsarbeiten funktionsfähig bleiben müssen.

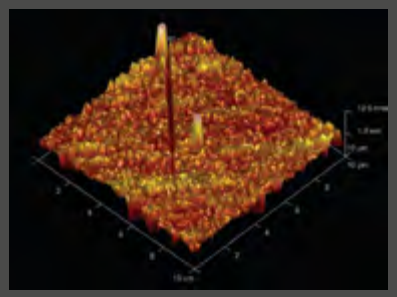
Während die Arbeiten für eine Raumfahrtmission an die europäische Industrie und Hochschulen ausgelagert sind, stellt ESTEC das Raumfahrtzentrum Europas dar, das Koordination leistet und die Aufsicht führt. Die Spezialisten des ESTEC arbeiten mit rigorosen Tests an der Erstellung von Regeln für die technischen Standards und den Flugbetrieb. Sie überwachen den steten Innovationsfluss, der auf Forschungs- und Entwicklungsplänen basiert und geplante künftige Missionen in eine greifbare Nähe rückt.

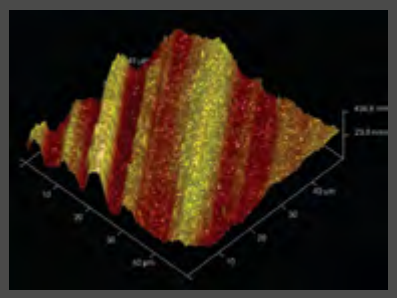
Und wenn ein bestimmtes Teil oder Material für eine Mission in Betracht kommt, müssen sich die Projektteams wirklich sicher sein, dass es sich für den Weltraum eignet. Kandidaten für derartige Teile und Materialien werden in den Speziallabors des ESTEC ausgiebig getestet, falls nötig bis zur Zerstörung. Dabei werden die Teile mit Strahlung geradezu bombardiert, auf Beanspruchungs-, Vibrations- und Thermoresistenz geprüft oder einem Vakuum wie im Weltraum ausgesetzt.

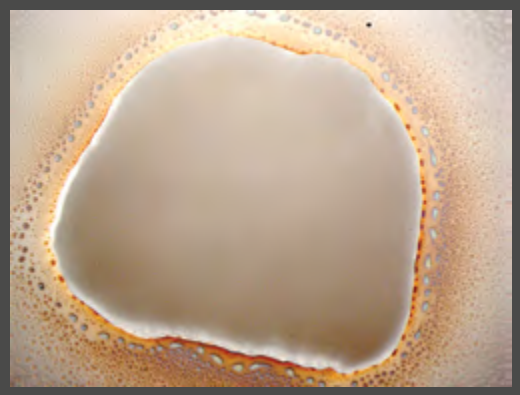
Natürlich findet der beste Test für ein System im Weltraum selbst statt. Ungefähr in der Größe eines Milchkartons stellen CubeSats mit 10 x 10 x 10 cm einen gewöhnlichen Satellitenstandard dar, um den Weltraum nicht nur Regierungen und großen Unternehmen zugänglich zu machen.

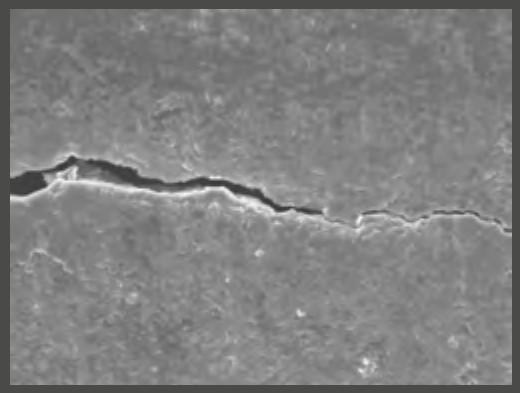
Die ESA sieht CubeSats als Teil des Bildungsauftrags, um die europäische Raumfahrtindustrie zu erhalten, die Ziele der Organisation weiterzuverfolgen und die nächste Generation von Forschern und Ingenieuren zu inspirieren, um sie so gut wie möglich auf den Arbeitsmarkt vorzubereiten. Das CubeSat-Programm der ESA bietet eine tiefgreifende Lernerfahrung von der Konzeption bis zum Entwurf und Testen eines echten Weltraumfahrzeuges und zum Flugbetrieb und den zugehörigen Bodensystemen, wobei alles durchgeführt wird von Studenten europäischer Universitäten unter der Leitung der Agentur.

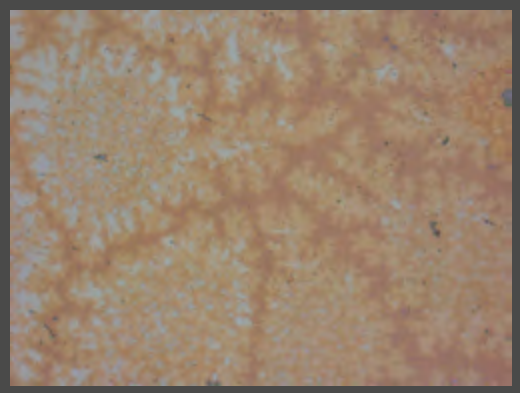
04











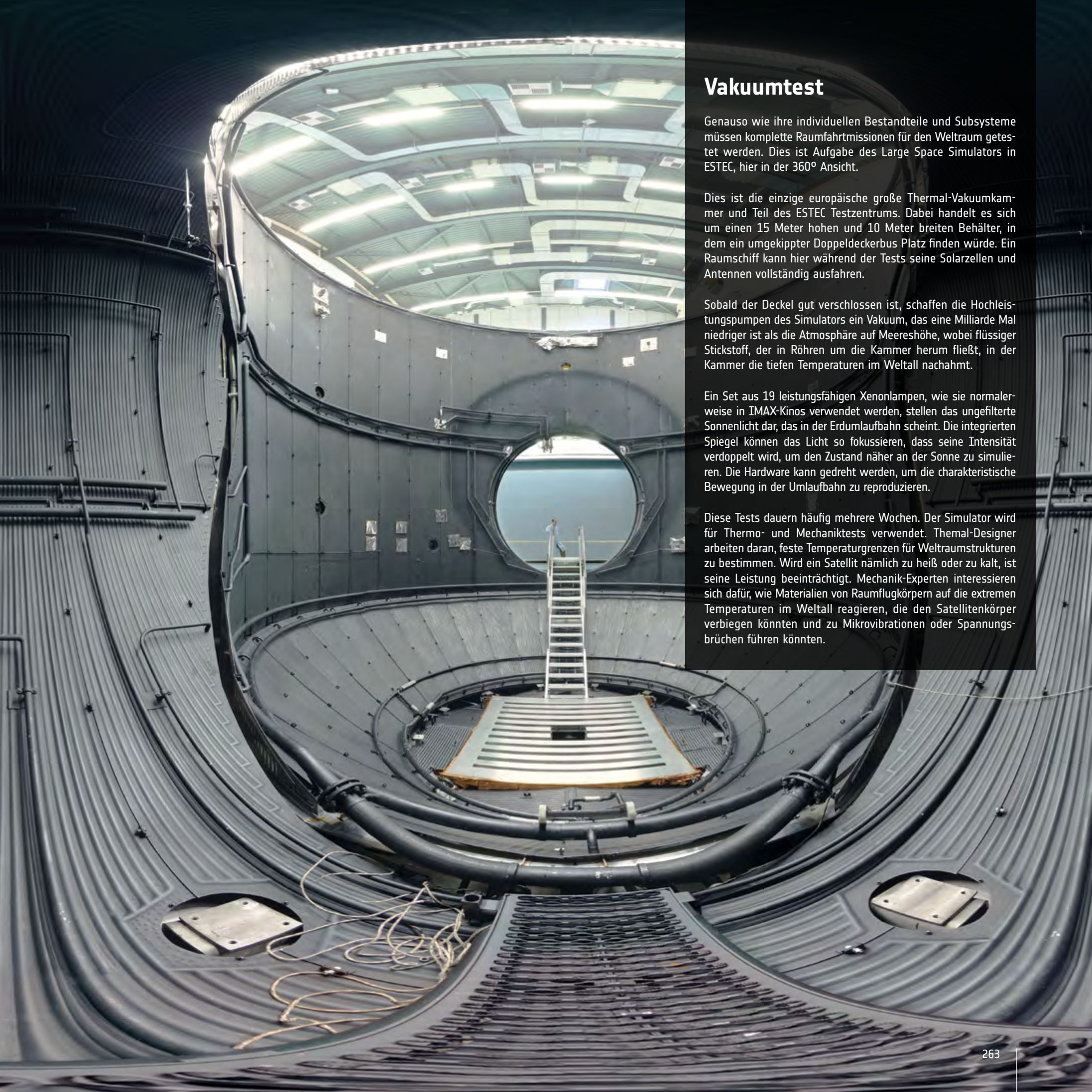
Tests in der Nanowelt

Das Vorbereiten von Missionen im Weltraum umfasst Tests in den Testlaboren des ESTEC, wie entlang dieses Korridors auf der Abbildung.

Die beiden oberen Bilder rechts wurden mit einer nur einen Nanometer breiten Spitze gefertigt, die wie ein Kugelschreiber über eine Schallplatte mit ESTECs Rasterelektronenmikroskop über die Testmaterialien gefahren wurde. Dabei ist zu bedenken, dass ein Nanometer ein Milliardstel eines Meters ist, was ungefähr dem Verhältnis einer Haselnuss zur Erde entspricht. Der Profilometer wurde mit Techniken aus der Halbleiterindustrie so fein auf nur wenige Dutzend einzelne Atome geschärft. Der Prozess entschlüsselt die Oberflächentopographie der Testelemente auf Atomebene, wobei pro Sekunde ungefähr ein einziges Atom kartiert wird. Forscher sind daran interessiert, wie Materialien auf die verschiedenen Aspekte der Weltraumumgebung wie beispielsweise extreme Temperaturen und Strahlung reagieren, denn Veränderungen an der Oberflächenchemie können das Verhalten eines Materials beachtlich verändern. Das obere Bild zeigt einen optischen Filter für die Sentinel-2-Mission, während das zweite eine goldene Isolationsfolie zeigt.

Die ESTEC-Labore sind mit verschiedenen optischen Elektronen- und konfokalen Mikroskopen ausgerüstet, um Nahaufnahmen der Testresultate zu erhalten, wobei Rastersondenmikroskope die Auflösung bis auf die Atomebene ermöglichen. Spezialgeräte können vorbereitende Bohrungen oder Schnitte an den Testmaterialien durchführen. Ansonsten sind nicht-invasive Methoden verfügbar, wie beispielsweise akustische Mikroskope mit Ultraschall. ESTECs Röntgen-Photoelektronen-Spektroskop kann die chemische Zusammensetzung der Oberfläche bis auf Nanometerebene identifizieren. Ein „Nanospachtel“ kann den Widerstand von Überzügen bei ähnlicher Dicke analysieren.

Das dritte Bild ist eine mikroskopische Ansicht von geschmolzenem Glas während eines Lasertests. Die vierte Abbildung zeigt mikroskopische Risse, die sich in einer 10-Mikron dicken Titanfolie gebildet haben. Das letzte Bild ist eine mikroskopische Ansicht von organischen Ablagerungen, die auf einer Glasprobe in der Raumexpositionsanlage entstanden sind (s. S. 191).



Vakuumtest

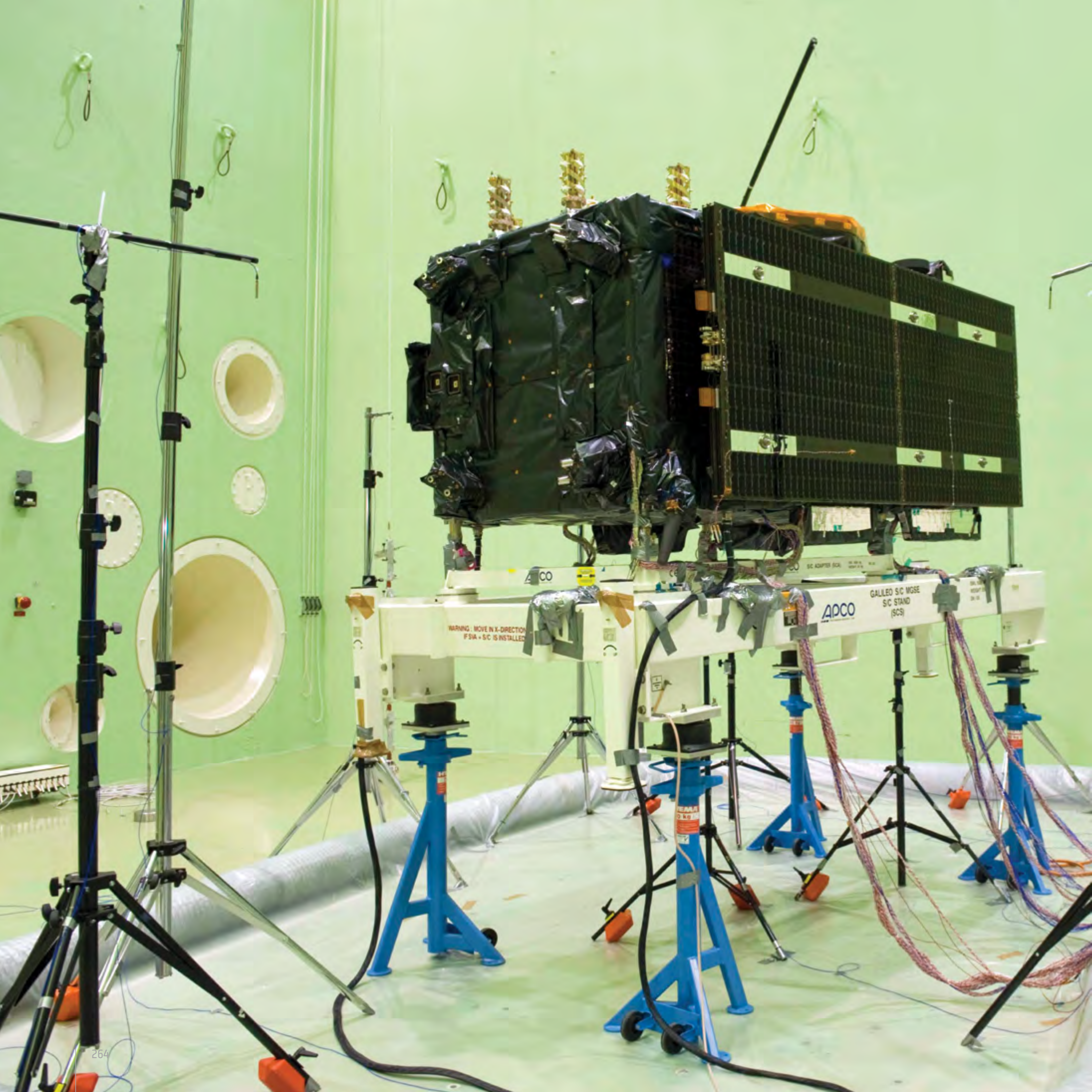
Genauso wie ihre individuellen Bestandteile und Subsysteme müssen komplette Raumfahrtmissionen für den Weltraum getestet werden. Dies ist Aufgabe des Large Space Simulators in ESTEC, hier in der 360° Ansicht.

Dies ist die einzige europäische große Thermal-Vakuumkammer und Teil des ESTEC Testzentrums. Dabei handelt es sich um einen 15 Meter hohen und 10 Meter breiten Behälter, in dem ein umgekippter Doppeldeckerbus Platz finden würde. Ein Raumschiff kann hier während der Tests seine Solarzellen und Antennen vollständig ausfahren.

Sobald der Deckel gut verschlossen ist, schaffen die Hochleistungspumpen des Simulators ein Vakuum, das eine Milliarde Mal niedriger ist als die Atmosphäre auf Meereshöhe, wobei flüssiger Stickstoff, der in Röhren um die Kammer herum fließt, in der Kammer die tiefen Temperaturen im Weltall nachahmt.

Ein Set aus 19 leistungsfähigen Xenonlampen, wie sie normalerweise in IMAX-Kinos verwendet werden, stellen das ungefilterte Sonnenlicht dar, das in der Erdumlaufbahn scheint. Die integrierten Spiegel können das Licht so fokussieren, dass seine Intensität verdoppelt wird, um den Zustand näher an der Sonne zu simulieren. Die Hardware kann gedreht werden, um die charakteristische Bewegung in der Umlaufbahn zu reproduzieren.

Diese Tests dauern häufig mehrere Wochen. Der Simulator wird für Thermo- und Mechaniktests verwendet. Themal-Designer arbeiten daran, feste Temperaturgrenzen für Weltraumstrukturen zu bestimmen. Wird ein Satellit nämlich zu heiß oder zu kalt, ist seine Leistung beeinträchtigt. Mechanik-Experten interessieren sich dafür, wie Materialien von Raumflugkörpern auf die extremen Temperaturen im Weltall reagieren, die den Satellitenkörper verbiegen könnten und zu Mikrovibrationen oder Spannungsbrüchen führen könnten.


APCO
GALILEO S/C MGSE
S/C STAND
(SCS)
APCO

Die Schallmauer

Dieser Galileo-Satellit wird für Tests in einem der größten Akustiksysteme der Welt vorbereitet. Bemerkenswert sind die Stereolautsprechern ähnelnden Hörner in den Wänden und die Mikrofone um den Satelliten. Dies ist die Large European Acoustic Facility oder LEAF, die den Lärm eines Raketenstarts simuliert, der so laut ist, wie eine ganze Flotte Düsenflugzeuge beim Start im Abstand weniger Meter.

Alle, die einen Raketenstart beobachtet haben, werden vom Lärm beeindruckt sein, sogar noch aus mehreren Kilometern Entfernung. Natürlich ist ein Satellit oben an der Trägerrakete noch größeren Lärmpegeln ausgesetzt. Noch lange vor diesem Moment müssen die Entwickler sicherstellen, dass Satelliten solchen Lärm überhaupt aushalten können.

LEAF ist die größte europäische Anlage, mit einer Testkammer von 11 m Breite, 9 m Tiefe und 16,4 m Höhe. Die Wände sind aus 0,5 m dickem Stahlbeton, die den Lärm auffangen und dick mit Epoxidharz beschichtet sind, um die Lärmabsorption zu reduzieren und den internen Widerhall zu verstärken.

Das ESTEC Testzentrum umfasst mehrere Testanlagen unter einem Dach, die alle unter strikten Reinraumbedingungen betrieben werden, die für die Tests von Weltraumfahrzeugen so fundamental sind. Mehrere sind für die Prüfung anderer Aspekte des Starts ausgerichtet, beispielsweise Rütteltische für die Vibration oder elektronische Kompatibilitäts- und Antennenkammern, die von den elektromagnetischen Feldern der Außenwelt abgeschnitten sind, um sicherzustellen, dass die Elektro- und Funksysteme eines Weltraumfahrzeuges ohne sich selbst zu stören, funktionieren.

Geschüttelt, nicht gerührt

Ein Teil eines Airbus-Rumpfes auf dem hydraulischen Rütteltisch Hydra des ESTEC-Testzentrums. Hier können Vibrationen generiert werden, die einem Erdbeben der Stärke 7,5 auf der Richterskala entsprechen. Das Testzentrum ist auch der europäischen Industrie zugänglich, wenn dies in die Planung passt. In diesem Fall versuchte Airbus die kurzen aber bedeutsamen Belastungen, bekannt als „Transienten", zu testen, denen ein Flugzeug während Manövern, bei starkem Wind oder beim Aufsetzen widerstehen muss, um möglicherweise störende interne Resonanzeffekte zu finden.

Von oben sieht der Hydra-Rütteltisch eher bescheiden aus, aber er ist einer der leistungsfähigsten seiner Art. Der sichtbare Teil ist nur eine 5,5 x 5,5 m Aluminiumplatte, die flach im Boden eingelassen ist. Aber diese Platte ist die Spitze eines 18 Tonnen schweren Tisches, der von acht hydraulischen Aktuatoren angetrieben wird und so ähnlich wie ein Flugsimulator funktioniert. Die Tischbewegung wird von 28 parallel laufenden Computern kontrolliert. Die Anlage kann Testelemente bis zu 22 Tonnen mit einer Beschleunigung von 0,05–5 *g* schütteln.

Die Raumfahrtindustrie fordert die rigorosesten Schwingungstests der Welt. Die ersten beiden Minuten eines Satellitenflugs sind die schwierigsten, da er die extremen Schwingungen des Starts verkraften muss. Deshalb ist es fundamental, die Satelliten und ihre Einzelteile vorher zu testen, um sicherzustellen, dass sie nicht zerbrechen.

esa
esa
6
MANNESMANN
REXROTH

→ DER WELTRAUM AUF ERDEN

Die anspruchsvollen Anforderungen der Weltraumumgebung sind eine ewige Herausforderung für Wissenschaftler und Ingenieure. Ihre Antworten erweitern ständig die Grenzen der Innovation. Die daraus entstehenden Technologien sind eine Klasse für sich: Sie halten extremer Beschleunigung, Schwingungen, Temperaturen und anderen Belastungen stand, und sind dabei so kompakt und leicht wie möglich. Solche Eigenschaften sind auch für andere Branchen nützlich. Das *Technology Transfer Programme* der ESA hat zur Aufgabe, Raumfahrttechnologien auf die Erde zu bringen, um neuartige Anwendungen für die europäische Bevölkerung und Industrie zu bieten.

Technologietransfer

Ein Großteil der besten Technologietransfers geschehen automatisch, wenn die Möglichkeiten einer Technologie für alle sichtbar werden. Es handelt sich um einen fortwährenden und oft unscheinbaren Prozess: Hersteller können das Wissen aus dem All nutzen, um industrielle Komponenten, Produkte und Prozesse zu verbessern.

In anderen Fällen ist viel Aufwand nötig, um eine vielversprechende Nische für Raumfahrttechnologie zu finden, basierend auf Fachwissen für die Bedürfnisse eines bestimmten industriellen Sektors. Dieser Prozess beginnt beim Durchforsten der Nicht-Weltraumbranche. Die ESA hat ein *Technology Brokers Network* aufgebaut, dessen Aufgabe es ist, die Marktanforderungen in Europa zu analysieren und Potentiale für die Nutzung der Raumfahrtinnovationen zu finden.

Das *Technology Transfer Programme* der ESA hilft diesem Prozess und hat in den letzten 20 Jahren über 260 Transfers begleitet. Die vorhandenen Systeme wurden so für einen neuen Lebenszyklus in einer ganz anderen Branche angepasst. Dies ist wie wenn Pflanzen in neuen Boden gesetzt werden: Die Bedingungen müssen gerade richtig sein, damit sie gut wachsen.

Geschäftsaufbau

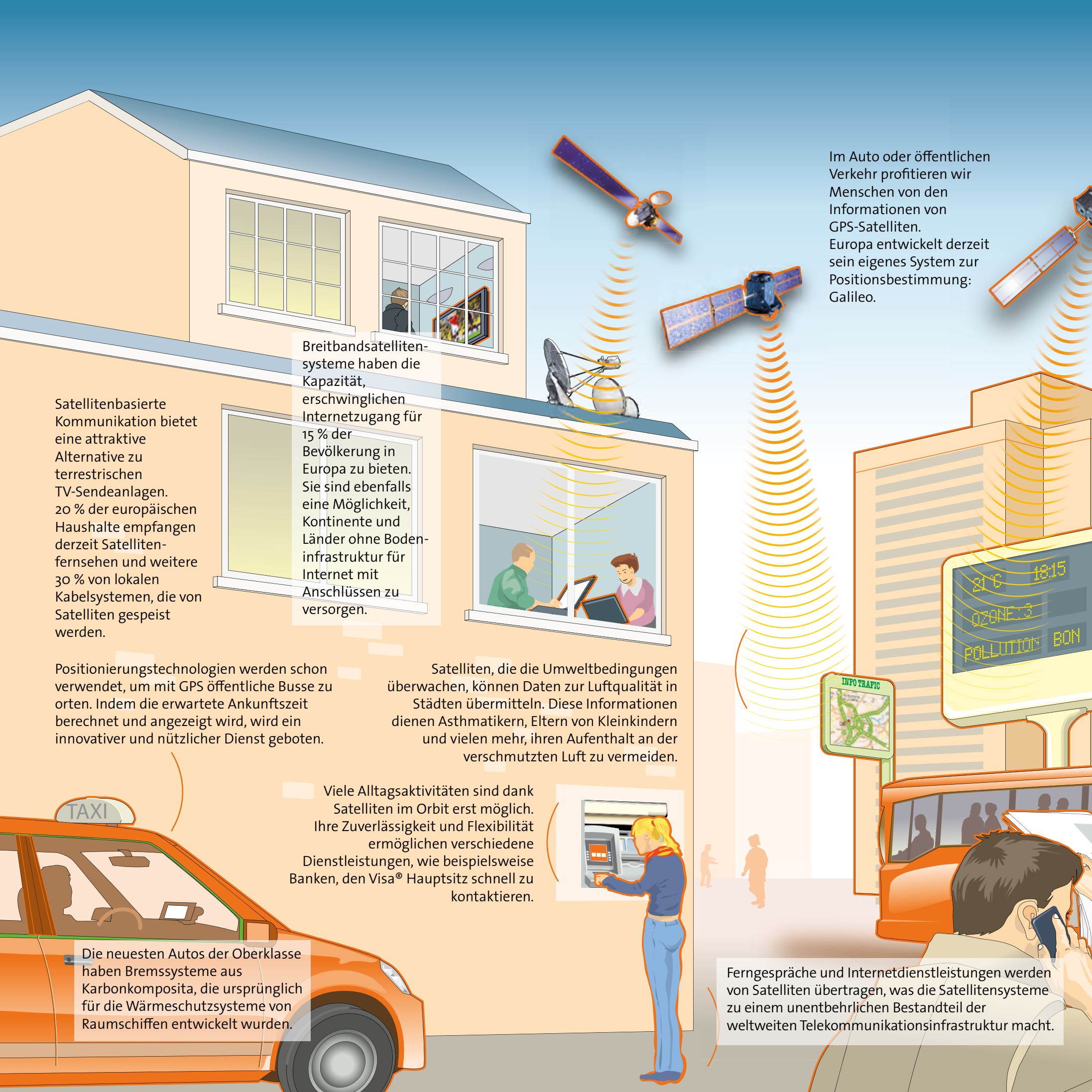
Das Programm unterhält ebenfalls neun *Business Incubation Centres* in Europa mit über 160 Startup-Unternehmen, die von diesen BICs gefördert werden. Das Programm unterstützt Unternehmer, die neue Firmen gründen, bei denen Raumfahrttechnologien auf der Erde genutzt werden, und bietet umfassende wirtschaftliche und technische Hilfe, wobei ungefähr ein

Dutzend Nicht-Raumfahrt-Startups pro Jahr hier ihre ersten Schritte wagen. Diese Zentren behalten intensive Verbindungen zum *European Space Incubator*-Netzwerk und anderen Unternehmensförderprogrammen.

Es kann schwierig sein, aus einem Anfangskonzept ein erfolgreiches Startup-Unternehmen zu schaffen. Aber die Unterstützung der ESA endet nicht mit dem Abschluss des Programms in einem der Business Incubation Center. Das *Technology Transfer Programme* kann anschließend während des jährlichen ESA Investment Forums junge Firmen in Kontakt mit vorwärts denkenden, auf Technologie fokussierten Investoren bringen. Zudem hat die ESA auch ihren eigenen Investmentfonds, den Open Sky Technologies Fund, aufgebaut, um Unternehmen während der Marktanpassung zu finanzieren.

Rentabilität

Der Technologietransfer bietet weiterhin echte Vorteile durch Raumfahrttechnologie für Geschäfte auf der Erde. Im Umkehrschluss wird der Industrie, gewerblichen Nutzern und natürlich auch der allgemeinen Bevölkerung eine größere Auswahl von Produkten zugänglich gemacht, die immer robuster und zuverlässiger werden. Dieser Prozess stärkt die europäische Raumfahrtindustrie, indem neue Geschäftsmöglichkeiten für existierende Systeme eröffnet werden und somit die Rendite der Erstinvestition erhöht wird. Das Technology Transfer Programme der ESA stellt sicher, dass der europäische Griff nach den Sternen eine breiter aufgestellte und wettbewerbsfähigere Industrie und somit eine verbesserte Lebensqualität für die Bürger Europas bringt.



Satellitenbasierte Kommunikation bietet eine attraktive Alternative zu terrestrischen TV-Sendeanlagen. 20 % der europäischen Haushalte empfangen derzeit Satelliten-fernsehen und weitere 30 % von lokalen Kabelsystemen, die von Satelliten gespeist werden.

Breitbandsatelliten-systeme haben die Kapazität, erschwinglichen Internetzugang für 15 % der Bevölkerung in Europa zu bieten. Sie sind ebenfalls eine Möglichkeit, Kontinente und Länder ohne Boden-infrastruktur für Internet mit Anschlüssen zu versorgen.

Im Auto oder öffentlichen Verkehr profitieren wir Menschen von den Informationen von GPS-Satelliten. Europa entwickelt derzeit sein eigenes System zur Positionsbestimmung: Galileo.

Positionierungstechnologien werden schon verwendet, um mit GPS öffentliche Busse zu orten. Indem die erwartete Ankunftszeit berechnet und angezeigt wird, wird ein innovativer und nützlicher Dienst geboten.

Satelliten, die die Umweltbedingungen überwachen, können Daten zur Luftqualität in Städten übermitteln. Diese Informationen dienen Asthmatikern, Eltern von Kleinkindern und vielen mehr, ihren Aufenthalt an der verschmutzten Luft zu vermeiden.

Viele Alltagsaktivitäten sind dank Satelliten im Orbit erst möglich. Ihre Zuverlässigkeit und Flexibilität ermöglichen verschiedene Dienstleistungen, wie beispielsweise Banken, den Visa® Hauptsitz schnell zu kontaktieren.

Die neuesten Autos der Oberklasse haben Bremssysteme aus Karbonkomposita, die ursprünglich für die Wärmeschutzsysteme von Raumschiffen entwickelt wurden.

Ferngespräche und Internetdienstleistungen werden von Satelliten übertragen, was die Satellitensysteme zu einem unentbehrlichen Bestandteil der weltweiten Telekommunikationsinfrastruktur macht.

Eine raumbasierte, elektronische Nase, ein Sensor, kann Rauch erkennen und vor Feuer in U-Bahnsystemen warnen.

Alle Medien vertrauen auf Satellitenkommunikation, auch Printmedien. Die Inhalte der Morgenzeitung werden via Satellit an die regionalen Druckereien geschickt.

Die satellitenbasierte Radaroberflächen-überwachung kann Frühwarnung bei gefährlichen Absenkungen von wenigen Zentimetern pro Jahr geben.

Unsere Welt heute

Ganz still und leise sind Weltraumtechnologien Teil unseres Alltags geworden. Es ist paradox, wenn man bedenkt, dass wir – umso nützlicher und allgegenwärtiger eine Raumfahrttechnologie ist – immer weniger daran denken, dass sie eigentlich aus der Raumfahrt kommt. Die von der ESA geförderten Ressourcen wie Wettersatelliten, Satellitennavigationssysteme und Telekommunikationssatelliten bilden eine unsichtbare Infrastruktur, die für unseren Lebens- und Arbeitsstil fundamental geworden ist, genauso wie im Boden vergrabenen Wasser-, Gas- und Telekommunikationsleitungen oder Strommasten, die von einer Stadt zur nächsten führen. Materialien aus der Raumfahrt sind langsam immer mehr zu fixen Bestandteilen in unserem Alltag geworden.

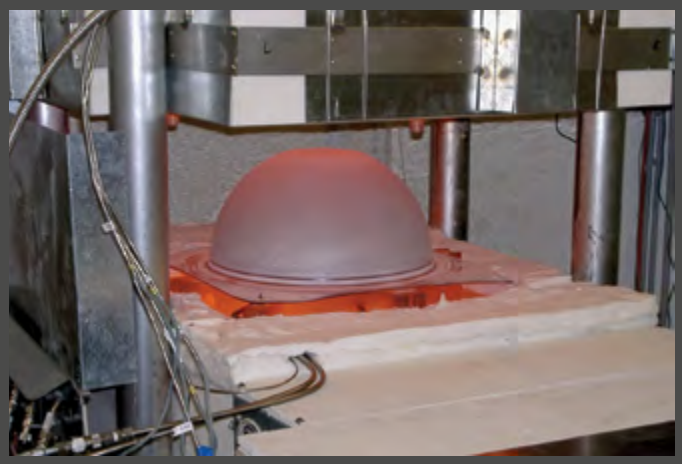
Gekrümmtes Metall

Der fortschrittliche Herstellungsprozess, der zur Herstellung dieser runden Kraftstofftanks für die Ariane 5 verwendet wurde, wird heute von der Nicht-Raumfahrtindustrie genutzt, um Autos sicherer zu machen.

Als Raumfähre und Rakete entlässt die Oberstufe der Ariane die Satellitenlast hoch oben im Vakuum des Weltalls. Der leistungsfähige Kraftstoff Hydrazin ist äußerst flüchtig, korrosiv und wird unter Druck transportiert. Titan 6/4, eine Leichtmetalllegierung aus Titan, Aluminium und Vanadium wird für diese Kugeln verwendet, da es mit Hydrazin nicht reagiert. Aber wenn man kaltes Titan rundklopft, können Mikrorisse entstehen.

Stattdessen setzt die deutsche Firma FormTech auf superplastisches Umformen, bei dem die Legierung auf 920 °C, halb so hoch wie der Schmelzpunkt, erhitzt wird, wonach das weiche Metall in eine Form gelegt wird und unter Gasdruck wie bei einer Blase geformt wird. Die ein Zentimeter dicken Tanks sind leicht, aber stark und so robust, dass mehrere davon ihren glühend heißen Fall zurück auf die Erde überlebt haben.

FormTech hat mit dem Technologietransfer-Broker MST Aerospace der ESA zusammengearbeitet, um für dieses Verfahren Anwendungen auf der Erde zu suchen. So wurde die Herstellung von Schutzschildern unter den Autos analysiert (unten rechts), die bei höheren Temperaturen betrieben werden können, besser passen und nur 70 % des aktuell verwendeten Aluminiumschutzschildes nötig machen.



Wilde Drehung in der Luft

Einen guten Standort für einen Windpark zu finden ist einfach, sobald man weiß, woher der Wind weht. Wenn neue Windparks rentabel sein sollten, ist es wichtig, die lokalen Windbedingungen zu bestimmen, um die Idealposition für jede Turbine zu finden. Die Analyse der Windbedingungen kann schwierig sein, da Bäume, Klippen und Hügel die Stärke und Richtung beeinflussen können. Die traditionelle Methode ist es, einen Mast aufzustellen, um Informationen zu sammeln, aber eine französische Startup-Firma, die im Business Incubation Centre in den Niederlanden unterstützt wurde, hatte eine andere Idee.

Das eigenständige Windcube-Set von Leosphere kann am Boden Windprofile auf programmierbaren Höhen bis 5 Kilometer messen, indem es Lidar, das Laseräquivalent zum Radar, nutzt. Die Laserimpulse von Windcube werden von Partikeln in der Luft, wie Staub, Wasser und Aerosolen, gestreut und zurück zum Sensor geschickt, wobei die atmosphärischen Bewegungsmuster aufgenommen werden.

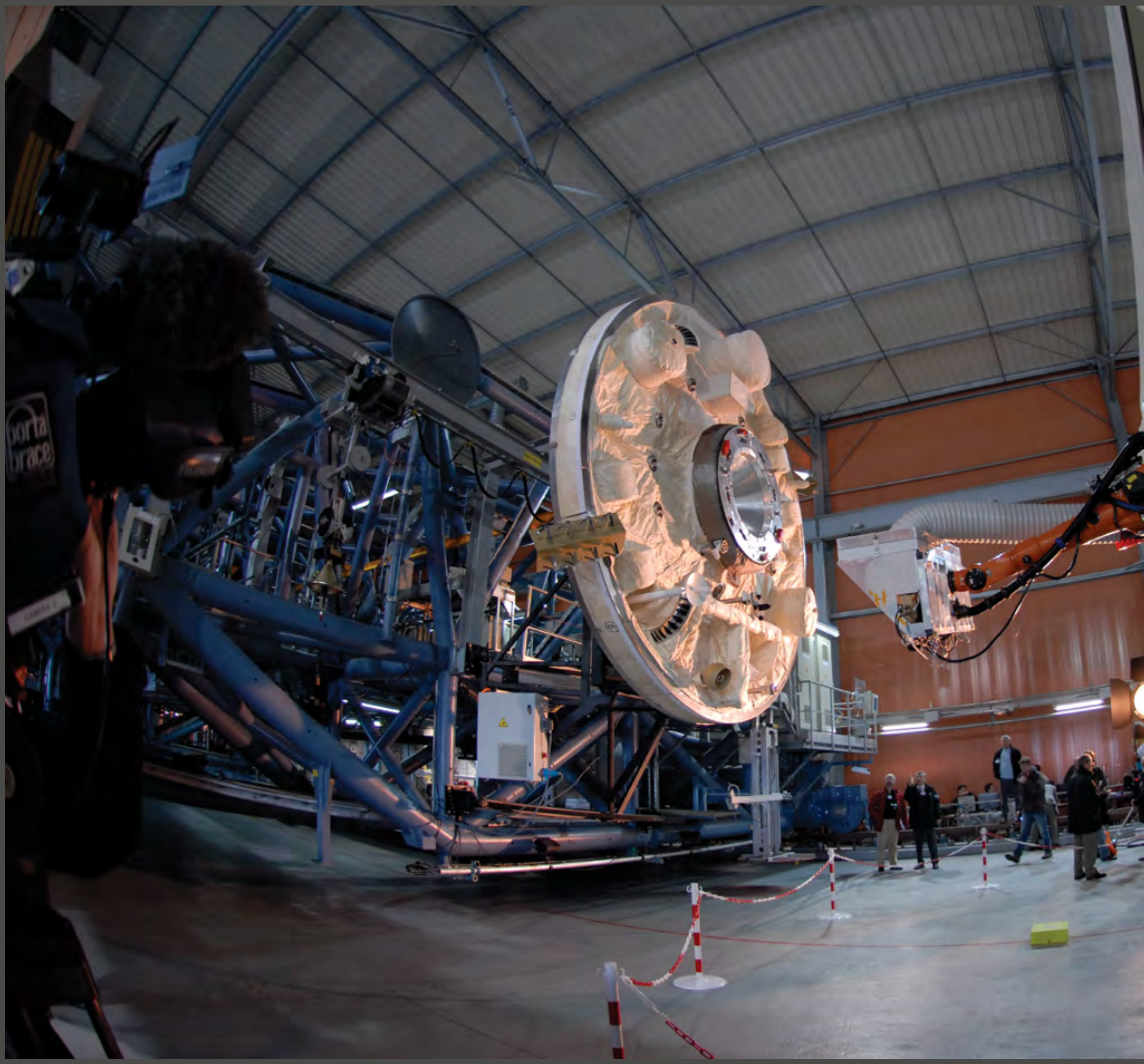
Das Konzept ist ähnlich dem geplanten Aeolus-Satelliten der ESA, der die globalen Winde aus der Umlaufbahn beobachtet. Agenturexperten nutzen ihre Aeolus-Erfahrung, um Leosphere-Ingenieuren bei der Leistungs- und Gewichtsoptimierung sowie einer verbesserten optischen Auflösung von Windcube zu helfen. Leosphere vermarktet auch weitere Systeme mit der gleichen Lidar-Technologie für Bereiche wie die Meteorologie oder die Erforschung des Klimawandels.

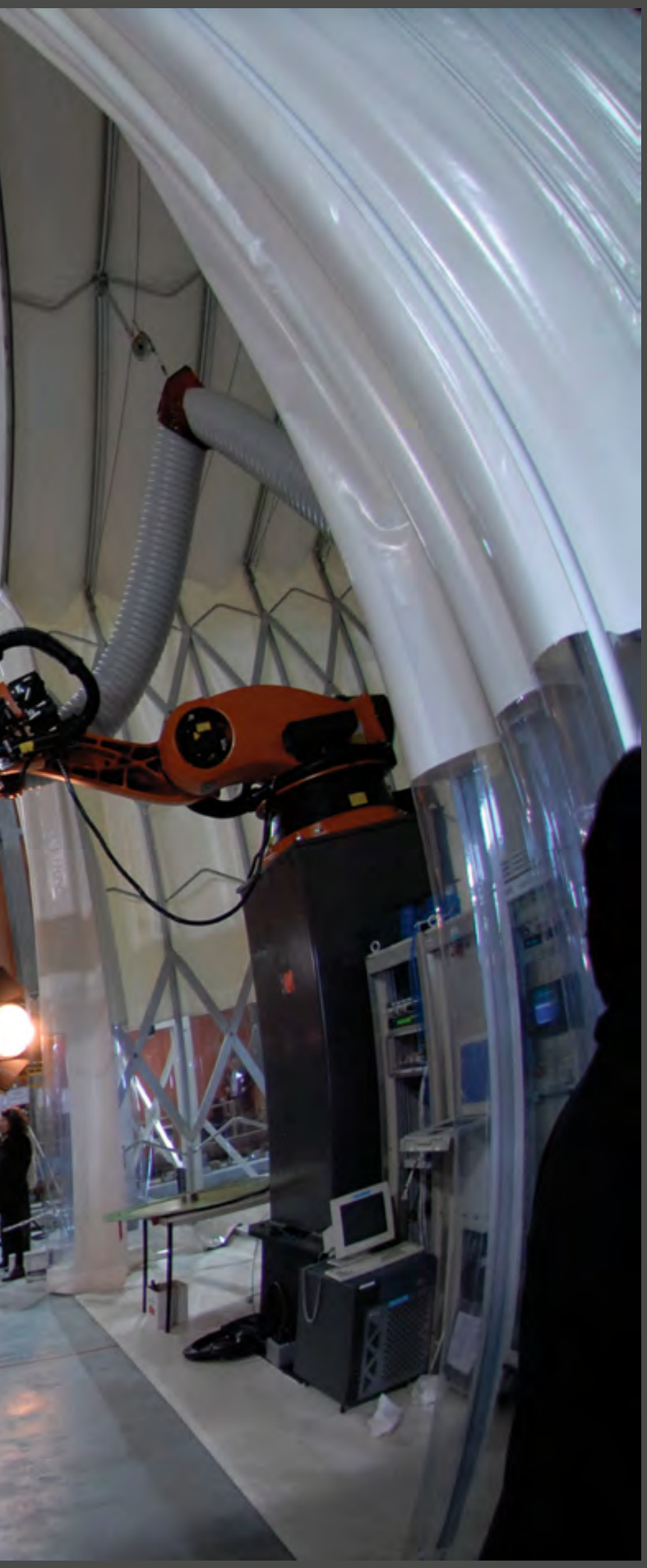
Glaskunst

Der More London-Komplex an der Themse bei der Tower Bridge ist ein extravagantes Beispiel moderner Architektur. Das zehnstöckige 7 More London-Gebäude – der neueste Zugang zum Komplex ist hier abgebildet – umfasst 16.500 m² Glasfassade.

Aber das Glas ist besonders, da es verbesserte Isolationseigenschaften aufweist, die das Gebäudeinnere im Sommer kühl und im Winter warm halten. Dank einer neuartigen Beschichtung wird nur ein Drittel der Wärme wie bei Glas aus den 1980er-Jahren übertragen, während die Lichtdurchlässigkeit bei 80 % bleibt, um die künstliche Beleuchtung auf ein Minimum zu reduzieren. Es wurde zum ersten Gebäude in England, das eine der begehrten Auszeichnungen mit „Sehr gut" der Building Research Establishment Environmental Assessment Method für Nachhaltigkeit erhalten hat.

Der hochleistungsfähige Vorgang zur Glasbeschichtung basiert auf einem Sensor, der ursprünglich unter einem ESA-Vertrag in den 1990er Jahren entwickelt wurde, um hoch erosiven atomaren Sauerstoff in der erdnahen Umlaufbahn zu finden. Eine Miniaturversion dieses Sensors befindet sich derzeit auf der Internationalen Raumstation ISS und ESCUBE, ein Spin-Off-Unternehmen aus Deutschland, hat begonnen, die gleiche Technologie 1999 für den Nicht-Weltraummarkt zur Verfügung zu stellen. Der große Vacu-Sen-Sensor wird vom führenden Flachglas-Hersteller Interpane in Deutschland verwendet, um den Beschichtungsprozess zu optimieren, der die Eigenschaften des Glases perfektioniert.

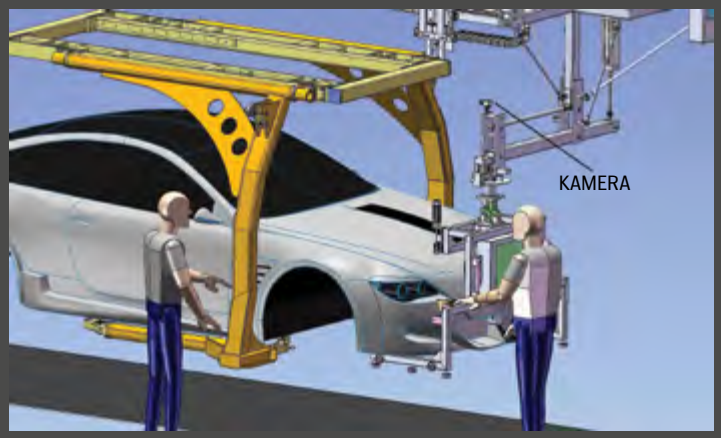




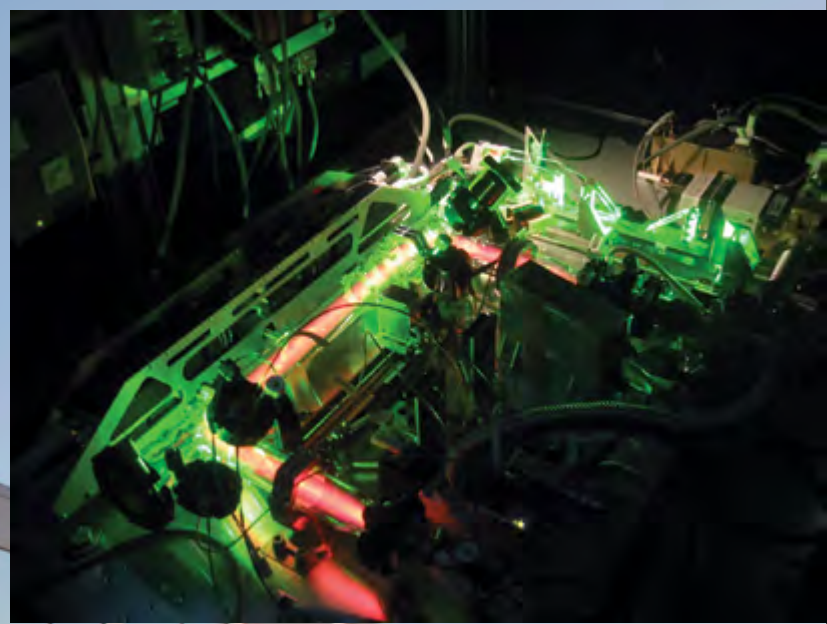
Andocken mit Stil

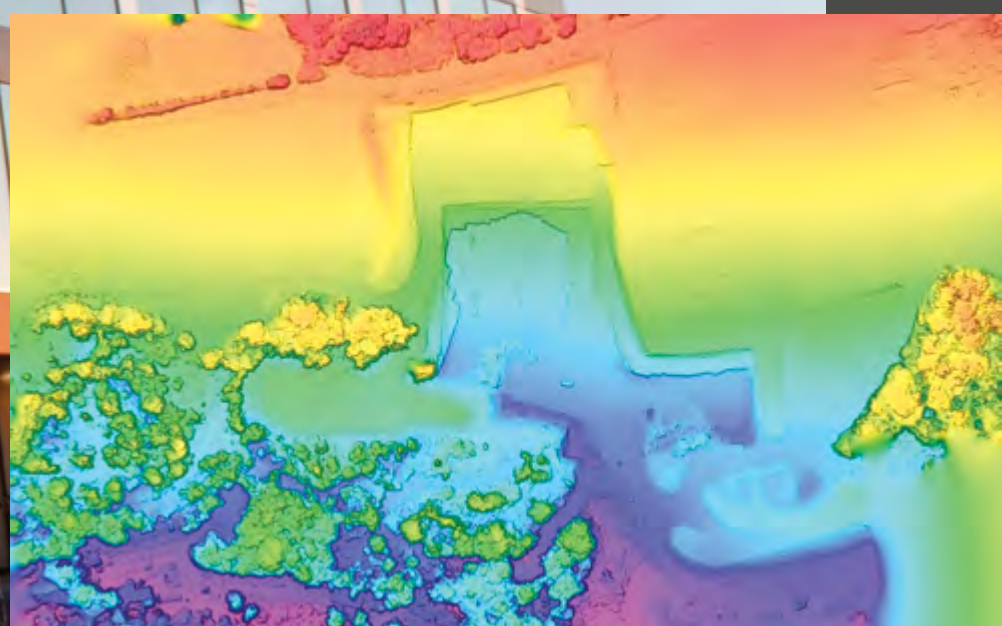
Die Frachtfähre der ESA, das Automated Transfer Vehicle, dockt nach einem präzisen, genau kontrollierten Plan automatisch an die ISS an. Dieser Prozess wird hier in der Anlage von Astrium ST in Les Mureaux, 50 km westlich von Paris, in Frankreich, getestet.

Und dank der Unternehmer, die vom Business Incubation Centre der ESA in Noordwijk, Niederlande, unterstützt wurden, wendet die Autoeuropa-Fabrik von Volkswagen in Palmela, Portugal, eine ähnliche Andocktechnologie an, um auf dem Förderband Module wie Armaturenbretter einzusetzen. Das System, das von der holländischen Firma MDUSPace entwickelt wurde, kombiniert eine Echtzeitkamera mit einer Software zur Objekterkennung, abgeleitet von Raumfährenandocksystemen, um sicherzustellen, dass der Förderbandroboter und seine Ladung im Vergleich zueinander genau gleich schnell sind und sich am gleichen Ort befinden. Das Prototypen-System wird ebenfalls für breitere Industrieanwendungen evaluiert.



esa
business
incubation
centre
Noordwijk





Geschäftsmöglichkeiten

Eine große Vielfalt der Raumfahrttechnologie hat innovative Unternehmen auf der Erde inspiriert. Meist handelt es sich dabei um neue Startup-Unternehmen, die in vielen Fällen vom ESA-Netzwerk der Business Incubation Centres unterstützt wurden, wozu auch das Noordwijk BIC in den Niederlanden gehört, das hier abgebildet ist.

- Elektromechanische Technologie in Miniaturform, ursprünglich für Satelliten-Mikroantriebe entwickelt, wurde angepasst, um dünnere und höher auflösende Szintillatoren für Zahnröntgenaufnahmen zu produzieren. Eine Dentalkamera wurde vom Scint-X-Unternehmen entworfen, die einen Szintillator von Nanospace, einem Unterunternehmen der schwedischen Raumfahrtagentur, aufweist, der Röntgenstrahlen in normales Licht verwandelt. Sie ist viel dünner als aktuelle Röntgenkameras auf dem Markt und macht Bilder, die viel detaillierter sind, wobei die Kamera direkt in den Mund des Patienten eingeführt werden kann.

- Das Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Deutschland hat eine langandauernde Versuchsreihe zu Plasma – elektrisch geladenes Gas – an Bord der ISS (oben links) als Basis genutzt, um ein Gerät zu entwickeln, das Bakterien und Viren tötet, die in Krankenhäusern zu Infektionen führen. Mit Hilfe der ESA konzentriert sich das Team jetzt auf die Entwicklung eines Handdesinfektionssystems für Krankenhäuser, aber die Technologie mit kaltem Plasma könnte irgendwann auch unser Zuhause erreichen. Plasma kann verwendet werden, um Zahnbürsten und Rasierer zu desinfizieren, statt wie bisher UV-Licht, das nur Oberflächen reinigt, auf die es fällt. Plasmageladenes Gas könnte auch verborgene Risse und Hohlräume säubern.

- Satellitennavigation dient dazu, Mikroflugzeuge bei der deutschen Startup-Firma MAVinci für kostengünstige Fernerkundung (hier unten links abgebildet) zu steuern. Das Unternehmen wird vom Business Incubation Centre der ESA in Darmstadt, Deutschland, beherbergt und ESA-Optikexperten haben Unterstützung bei der Kalibrierung der Instrumente geleistet.

- Die niederländische Firma EstrellaSat, die von der ESA unterstützt wird, wendet Satellitennavigation an, um die Produktivität und Sicherheit von schweren Minenmaschinen zu verbessern. Große Transportlastwagen, die in den Minen Südamerikas zum Einsatz kommen, sind drahtlos via Satellit mit einem Kontrollzentrum in den Niederlanden verbunden, wo die Maschinen und ihre Fahrer ständig überwacht werden, um im Problemfall schnell intervenieren zu können.

- Gas, das chemisch in einem festen Material statt in Drucktanks gelagert wird, kann während Jahren bei Zimmertemperatur verbleiben. Die holländische Firma TNO Space hat diese Gasgeneratoren zur Unterdrucksetzung von Kraftstofftanks entworfen und die niederländische Startup-Firma Fire Suppression Inside nutzt sie an Bord der Proba-2 der ESA, um Feuer in Computergeräten zu vermeiden.

Wissenspools

Technologietransfer ist ein Engagement der ganzen Agentur, wobei Vorgesetzte im Technikbereich ihre Spezialisten an Startup-Unternehmen ausleihen, die Raumfahrttechnologie nutzen.

Teure elektronische Geräte im Wasser zu versenken ist normalerweise eine schlechte Idee, aber dieser HD-Fernsehbildschirm landete als Teil eines Technologietransfertests am Beckenboden im ESTEC-Pool.

Die niederländische AquaCinema-Firma möchte Swimmingpools in virtuelle Realitäten verwandeln, indem sie mit wasserdichten Aquafliesen mit HD-Videoanzeige ausgekleidet werden. Während Schwimmer ihre Längen ziehen, könnten sie Bilder des Great Barrier Reefs betrachten oder die Welt aus dem All sehen und sich schwerelos fühlen, sofern die Fliesen funktionieren wie geplant. ESTEC stellte deshalb den Sportclubpool zur Verfügung, um die Prototypen auszutesten. Diese pragmatische Hilfestellung sorgte für einen erfolgreichen Test.

Die Anzeige wurde von einem System adaptiert, das ursprünglich entwickelt wurde, um verschiedene Konfigurationen der ISS im ESTEC anzuzeigen, während das Aquacinema selber vom Business Incubation Centre im nahen Noordwijk unterstützt wird.

→ NUR DER ANFANG

„Zu den Sternen zu greifen ist ein Problem, das buchstäblich und im übertragenen Sinn Generationen beschäftigen wird, weshalb unabhängig davon, wie viel Fortschritte man macht, wir immer noch am Anfang stehen.“ Dies schrieb der Raketenpionier Robert Goddard 1932 an den Autor H. G. Wells, dessen Science Fiction ihn zu Beginn seiner Forschung inspiriert hatte.

Die ESA hat in ihrem 50-jährigen Bestehen sicherlich viel erreicht. Aber im Vergleich zur immensen Größe des Weltalls steht die Agentur erst am Anfang. Wir sitzen immer noch an Land und testen gerade erst mit den Zehenspitzen das Wasser. Dies ist nur der Beginn eines großen Abenteuers und einer Reise, die so lang sein wird, wie unsere Spezies existieren wird.

Schutz des Weltraums

Als Pioniere sind wir verpflichtet, an die zu denken, die nach uns kommen. Deshalb konzentriert die Agentur sich darauf, sicherzustellen, dass die nächste Generation den Weltraum, der die Erde umgibt, immer noch nutzen kann. Aufbauend auf der Führungsrolle, die die ESA bei der Vermeidung von Raumtrümmern einnimmt, zielt sie darauf ab, Vorbild für verantwortungsvolle und nachhaltige Raumfahrtaktivitäten zu sein. Die Space Situational Awareness Initiative der ESA unterstützt dieses Engagement, indem Gefahren für die Erde und unseren Weltraum beobachtet werden. Die ESA stellt zudem sicher, dass die am Boden verwendeten Prozesse und Produkte so umweltfreundlich wie möglich sind.

Eine nachhaltige Raumfahrtagentur maximiert zudem auch die Vorteile für die Bevölkerung als Rendite ihrer Investition. Die ESA wird ihre Arbeit mit der Europäischen Kommission und den Mitgliedsstaaten weiterführen, um das hart erarbeitete Wissen in innovative Produkte und Dienstleistungen umzuwandeln und die europäische Wettbewerbsfähigkeit voran zu bringen. Auch im Weltraum wird die Zukunft erfunden und unser Kontinent wird in eine Wissensgesellschaft verwandelt, die ein blühendes Jahrhundert erwartet.

Wohlstand schaffen

Die Agentur setzt sich besonders dafür ein, Anwendungen aus der Raumfahrtinfrastruktur weiterzugeben. Dieser Bereich schafft den größten Wohlstand und Mehrwert, wobei sich diese Branche in diesem Jahrzehnt vervierfachen wird. Neue Möglichkeiten eröffnen sich im Schnittpunkt der Erdbeobachtung, der Satellitennavigation und der

Satellitenkommunikationssysteme, die erst gerade erforscht werden.

Die ESA versucht zudem, die Verbindungen mit terrestrischen Sektoren zu verstärken, wo immer technische Synergien existieren. Die ESA ist seit längerem ein Technologietreiber für erneuerbare Energien und Energiespeicherung, aber dieser Sektor besitzt auch Wissen, von dem die Agentur profitieren kann: Der Energiesektor und die Raumfahrtindustrie benötigen beide hochleistungsfähige Materialien, die hohen Energien und extremen Bedingungen standhalten. Copernicus bietet schon jetzt ein neues Instrument zum Umweltmanagement, während die ESA-Forschung für Lebenserhaltungssysteme und Recyclingsysteme für lange Raumfahrtmissionen auch auf dem „Raumschiff Erde“ zunehmend Anwendungen finden wird.

Nächste Generation

Schließlich zielt die ESA darauf ab, die gleiche Art von Inspiration zu bieten, wie sie der junge Robert Goddart in seiner Science Fiction gefunden hat, um die nächste Generation europäischer Wissenschaftler und Ingenieure hervorzubringen. Studien zeigen, dass junge Menschen, wenn man sie fragt, ob sie in der Wissenschaft oder im Ingenieurbereich arbeiten möchten, mit „Nein“ antworten, insbesondere Mädchen und junge Frauen. Interessanterweise finden die gleichen jungen Europäer aber Raketen, Satelliten und die Raumfahrt interessant. Raumfahrtaktivitäten sind ein ausgezeichneter Weg, die Aufmerksamkeit von wissenschaftlichen Denkern und Führungskräften von morgen zu gewinnen. Dass Europa den Weltraum erforscht, ist also kein optionales Extra, sondern dient uns, die Zukunft auf mehr als nur eine Art aufzubauen.

Sauberer Weltraum

Sie sehen aus wie Astronauten (oben), aber diese Ingenieure am europäischen Weltraumbahnhof in Französisch-Guayana tanken flüssiges Hydrazin für den Start der Herschel-Mission. Wie viele andere Raumschiffe nutzt Herschel Hydrazin für seine Manöver in der Umlaufbahn. Aber dieser hochenergetische Brennstoff ist eben auch äußerst giftig und explosiv. Die Schutzanzüge weisen auf die gefährliche Natur des Hydrazins hin.

Die ESA sucht nach sichereren, umweltfreundlicheren Alternativkraftstoffen als Teil der größeren Clean Space-Initiative, um sie zum Modell für saubere, verantwortungsbewusste und nachhaltige Raumfahrtaktivitäten zu machen.

Der erste Schritt ist es, die Umwelteinflüsse der ESA-Aktivitäten zu analysieren, wie beispielsweise die Lebenszyklen der europäischen Trägerraketen oder die Abgassäulen bei einem Ariane 5-Start (nebenan). Im Vergleich zum Autosektor ist das Volumen der Weltraumindustrie relativ klein, aber sie arbeitet auf dem gleichen Planeten wie alle anderen auch.

Neue Umweltgesetze und mehr Bedenken seitens der Kunden und Partner bedeuten, dass genauere Untersuchungen unabdingbar werden, und damit tun wir genau das Richtige.

Am Boden stellt die ESA zudem sicher, dass die verwendeten Prozesse und Produkte so umweltfreundlich wie möglich sind. Im Weltraum baut sie derzeitig auf die Vermeidung von Weltraummüll, um den Weltraum aufzuräumen, indem „Space Situational Awareness" große Trümmerteile verfolgt und zukünftige Pläne erarbeitet, diese falls nötig in eine Friedhofs-Umlaufbahn zu leiten.

Dies ist erst der Anfang der Raumfahrtära. Wir müssen die Erdumlaufbahn der Generation von morgen so sauber wie möglich hinterlassen.

Den Himmel im Blick

Der Weltraum ist im Alltag der meisten Menschen schon heute ein wesentlicher Bestandteil. Weltraumbasierte Systeme und Anwendungen sind unverzichtbar für viele Dienstleistungen, die für die europäischen Regierungen und die Wirtschaft – wie beispielsweise den Sicherheitssektor – von großer Bedeutung sind. Diese Abhängigkeit wird in der Zukunft noch weiter zunehmen.

Es ist zudem wichtig, unser Wissen über die Weltraumumgebung zu verbessern, denn wir sind so sehr auf sie angewiesen. Dies ist Ziel des ESA-Programms Space Situational Awareness (SSA), das in diesem Jahrzehnt Schritt für Schritt zum Leben erweckt wird.

SSA dient Europa dazu, zu wissen, was im Weltall passiert, indem Objekte und Naturphänomene beobachtet werden, die unsere Infrastruktur beschädigen könnten. Das Programm überwacht und verfolgt Objekte in der Erdumlaufbahn, darunter aktive und tote Satelliten, abgeworfene Raketenstufen und Trümmer. Zudem gehört die Überwachung des Weltraumwetters dazu: Partikel und Strahlung von der Sonne können Kommunikations- und Navigationssysteme sowie andere Netzwerke im Weltraum und am Boden beeinträchtigen. Zu SSA gehört ebenfalls die Überwachung erdnaher Objekte wie Asteroiden, die uns möglicherweise erreichen könnten.

Um die Kapazität für diese Aktivitäten zu schaffen, nutzt das Programm zunächst vorhandene Anlagen der ESA sowie europäischer und internationaler Partner, die zum SSA-System gehören. Diese werden später mit neuer Infrastruktur ergänzt, wie beispielsweise durch Radare und optische Überwachungsteleskope, wobei in der Zukunft möglicherweise spezielle Satellitenmissionen dazukommen.

Stromabwärts

Das Wachstum dieses südafrikanischen Weingutes wird anhand von Daten aus Messungen vor Ort und Satellitenüberwachung genau überwacht.

Um die Reben zu wässern, an denen die Trauben vor sich hin reifen, benötigen die Bauern Informationen zu Pflanzenproduktion und Wasserkonsum. Der GrapeLook-Dienst der ESA nutzt Satelliten-Fernerkundung, um zu sehen, wie viel Wasser von den Pflanzen abgegeben wird, wie viel Biomasse wächst und wie effizient das Wasser insgesamt genutzt wird. Die abgelesenen Feuchtigkeitsdaten werden in Echtzeit via Satellit an ein Verarbeitungszentrum gesandt. Sobald die Informationen verarbeitet sind, werden die Karten online gestellt, damit sie Weinbauern und Wassermanagern auf einer auf Google Maps basierten Website zur Verfügung stehen. Während eines Tests des Dienstes 2011 waren sich die Teilnehmer einig, dass GrapeLook für die Überwachung des Wasserstresses, des Erntewachstums und der Identifizierung von Bewässerungsproblemen extrem nützlich ist. Der Dienst sollte die Menge der zu erntenden Trauben erhöhen, wobei die Weinqualität verbessert und weniger Wasser verschwendet wird.

GrapeLook wurde über das ESA-Programm Integrated Applications Promotion (IAP) unterstützt, das terrestrische Dienste in Kombination mit weltraumbasierten Systemen fördert, wie beispielsweise hier Fernerkundung, Satellitenkommunikation und -navigation. Die größte Wertschöpfung und Schaffung von Arbeitsplätzen in der Raumfahrtindustrie ist auf den nachgelagerten Sektor beschränkt, die neuen Märkte und Dienstleistungen, die die Raumfahrtinfrastruktur eröffnet. Beispielsweise ist der Gesamterlös von Telekommunikationssatelliten aus Branchen wie Satellitenfernsehen 30 Mal größer als die Investitionen, die zur Herstellung und für den Start der Satelliten aufgewendet werden. IAP und ähnliche Aktivitäten fördern die frühe Entwicklung von nachgelagerten „Killer-Apps“ für die neue Raumfahrtinfrastruktur, die Europa aufstellt.

Weg vom Netz und doch am Telefon

Schulkinder aus dem Dorf Mambi in Westsulawesi, Indonesien, fahren mit dem Fahrrad an der mit Solarenergie betriebenen Basisstation vorbei, die ihr abgelegenes Dorf mit dem Handynetzwerk verbunden hält, obwohl sie nicht an das Stromnetz angeschlossen sind. Die irische Firma Altobridge hat die Basisstation entwickelt, wobei die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von der ESA durch das Advanced Research in Telecommunications Systems-Programm unterstützt wurden.

Mit der Hilfe der ESA konnte Altobridge neue Funktionen hinzufügen, wie beispielsweise die lokale Vermittlung von Anrufen und die intelligente Übergabe auf andere Knoten im öffentlichen Mobilfunknetz.

Die Kosten wurden reduziert, indem das Remote-Gateway in einen Computer mit nur einer Platine in der Übertragungsanlage mit kurzer Reichweite integriert wurde.

Dank der ESA zeigt Altobridge, dass mobile Dienste möglich sind, wenn die Satellitenbandbreite intelligent und effizient genutzt wird.

Das Unternehmen wurde vom Weltwirtschaftsforum als Technologiepionier anerkannt und die Basisstationen werden schon von lokalen Einrichtungen in Asien, Afrika und den Pazifikinseln sowie neuerdings auch im Nordirak verwendet.

Energiebündel

Der Weltraum ist ziemlich leer, aber etwas kommt darin im Übermaß vor: Sonnenschein.

Während vieler Jahre war ESA führend in der Photovoltaik und anderen neuartigen Energietechnologien. Solarzellen sind genauso eine Schlüsseltechnologie für den Weltraum wie die Raketen selber. Die ESA hat hart daran gearbeitet, die Effizienz von Solarzellen bis auf die aktuellen 30 % zu bringen, was nahe an der theoretischen Obergrenze liegt. Erdbeobachtungssatelliten produzieren auch Sonnenscheinkarten, um optimale Standorte für Solarenergieanlagen zu finden und die Betriebseffizienz auf höchstes Niveau zu bringen.

Zudem hat die ESA Methoden zur Energiespeicherung mit hoher Dichte für Raumfahrtmissionen erforscht, die zum Vermeiden weiterer Kohlenstoffemissionen im Transportsektor sehr wichtig sind. Die ESA etabliert Kontakte mit der Europäischen Kommission und der Industrie im Energiebereich, um ihre Expertise für den Energiesektor auf der Erde verfügbar zu machen. So kann besser auf die Umweltauswirkungen im Energiebereich und die Energiesicherheit reagiert werden.

Eine Welt für sich

Ohne viel Gepäck zu reisen ist für die heutigen Astronauten kaum eine Möglichkeit, denn sie brauchen Tonnen an Nahrungsmitteln, Wasser und Sauerstoff, um während langer Expeditionen in die Tiefen des Alls am Leben bleiben zu können. Diese „Rattenbesatzung“ hilft mit, dies zu verändern, wobei gleichzeitig neuartige Umweltmanagementtechniken getestet werden.

Die Pilotanlage der ESA an der Universität Autónoma in Barcelona befindet sich in der letzten Phase der Micro-Ecological Life Support System Alternative (MELiSSA)-Initiative, wo die Schaffung von lebenserhaltenden Modulen mit geschlossenem Kreislauf und einer Effizienz von beinahe 100 % entwickelt werden. Dabei handelt es sich um ein selbsterhaltendes Ökosystem, das idealerweise keinen Nachschub benötigt.

Die Anlage in Barcelona ist dazu entworfen, zu zeigen, dass das MELiSSA-Konzept in Testläufen funktioniert und die 40 Ratten am Leben bleiben, deren gemeinsamer Sauerstoffverbrauch dem eines Menschen entspricht. MELiSSA geht weiter als andere Recyclingsysteme, die auf der ISS eingesetzt werden und Wasser reinigen, Urin und ausgeatmetes Kohlenstoffdioxid wieder aufbereiten, aber organische Abfälle nicht zur Lebensmittelproduktion verwenden.

Hier geht nichts verloren. Basierend auf dem Prinzip eines aquatischen Ökosystems besteht die Anlage aus fünf untereinander verbundenen Abteilen. In drei davon werden Abfälle langsam durch Fermentierung verarbeitet. Im vierten Abteil wachsen Algen und Pflanzen zur Lebensmittel-, Sauerstoff- und Wasserproduktion. Und im fünften Abteil lebt die „Besatzung“.

Diese Pilotanlage ist nur ein Element der internationalen MELiSSA-Unternehmung, die von der ESA koordiniert wird und bis jetzt zu Hunderten wissenschaftlicher Artikel und mehreren Spinoff-Umwelttechniken geführt hat, wie beispielsweise der Verarbeitung von Abwasser, die Kontrolle von Weinbergkontaminierung und dem Recycling von Tiermist für intensive Landwirtschaft.

Weitersagen!

Am 18. September 2011 haben die ESA und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR gemeinsam das erste europäische „Space TweetUp“ im europäischen Astronautenzentrum in Köln als Bestandteil des deutschen Tags der Luft- und Raumfahrt durchgeführt. Der Event war für Raumfahrtenthusiasten gedacht, die das soziale Netzwerk Twitter nutzen, und brachte 60 Gäste aus vier Kontinenten zusammen, um ein spezielles Informationsprogramm mit Missionsmanagern, Wissenschaftlern und Astronauten der ESA und NASA zu bieten.

Die ESA hatte dazu die allgemeine Bevölkerung als Zielpublikum gewählt, um eine breitere Zielgruppe als die zu erreichen, die jetzt schon die ESA-Website besuchen und das ESA-*Bulletin* oder andere Publikationen lesen. Es ging darum, einen größeren Teil der europäischen Bevölkerung zu erreichen, der wenig oder nichts über die Arbeit der Agentur weiß. Wenn man bedenkt, dass der ESA-Astronaut André Kuipers während seines Aufenthalts auf der ISS mehr als Hunderttausende Follower hatte, sieht man, dass soziale Medien immer wichtiger werden. Partnerschaften mit nationalen Interessensgruppen in den Mitgliedsstaaten sind eine weitere Möglichkeit, die Reichweite der ESA zu vergrößern. Das Ziel ist es, die Menschen da abzuholen, wo sie stehen und im tatsächlichen und übertragenen Sinn ihre Sprache zu sprechen.

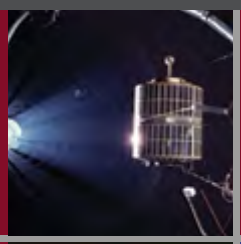
Die ESA hat eine großartige Geschichte zu erzählen, voller Pioniererfolge und technischer Glanzleistungen. Umfrage für Umfrage zeigt, dass die Unterstützung für das Weltall größer wird, je mehr Wissen über das Thema vorhanden ist. Es hängt eben alles davon ab, das Wissen zu teilen.

Die Abbildung unten rechts zeigt ein Schild, das in Noordwijk nahe ESTEC steht, um das 40-jährige Jubiläum der ersten bemannten Mondlandung zu feiern. Das Bild unten links zeigt Neil Armstrong persönlich, wie er zusammen mit vielen anderen historischen Weltraumforschern die Granittafel unterschreibt, die im Space Expo-Besucherzentrum des ESTEC zu sehen ist.

esa
esa
esa
esa
esa
esa

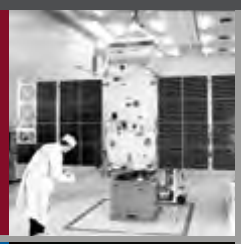
DIE MISSIONEN DER ESA

esro serie
Start: 1967 (fehlgeschlagen), 1968, 1969, 1972
Wissenschaftliche Erforschung der Partikel und Strahlung im Weltraum

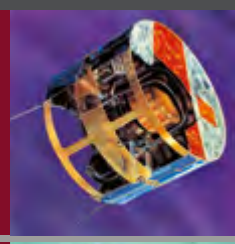


heos-1 & -2
Start: 1968 & 1972
Untersuchung des Erdmagnetfeldes und des interplanetaren Raumes

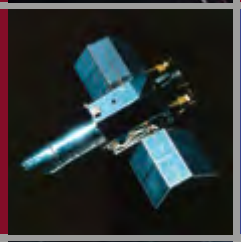
td-1
Start: 1972
UV-, Röntgen- und Gammastrahlen-astronomie



cos-b
Start: 1975
Gammastrahlen-astronomie

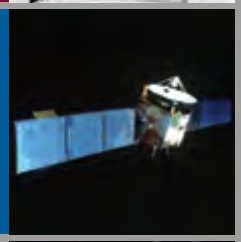


iue
Start: 1978
Ultraviolett-Astronomie

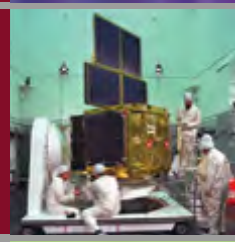


ariane
Erster Start: 1979
Kommerziell betriebene Trägerrakete, die Europa den unabhängigen Zugang zum Weltraum ermöglicht

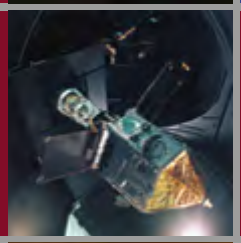
marecs serie
Start: 1981, 1982 (fehlgeschlagen), 1984
Maritime Telekommunikations-satelliten



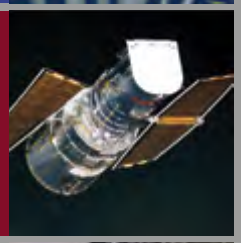
exosat
Start: 1983
Röntgenastronomie



hipparcos
Start: 1989
Kartierung der Position von über 100.000 Sternen



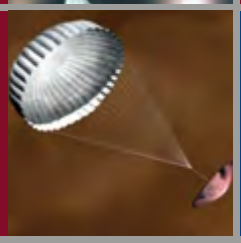
hubble space telescope
Start: 1990
ESA trug Solargeneratoren und die Faint Object Camera bei



ulysses
Start: 1990
Kartierung des Weltraums ober- und unterhalb der Pole der Sonne

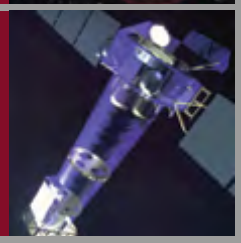
ers-1 & -2
Start: 1991, 1995
Radarbasierte Erdbeobachtung

huygens
Start: 1997
Oberflächenuntersuchung des Saturnmondes Titan

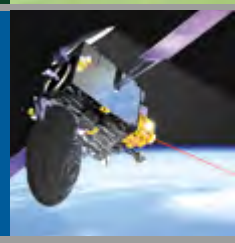


ard
Start: 1998
Erstes europäisches, experimentelles Wiedereintrittsfahrzeug

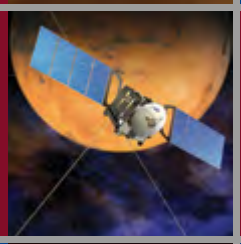
xmm-newton
Start: 1999
Röntgenastronomie



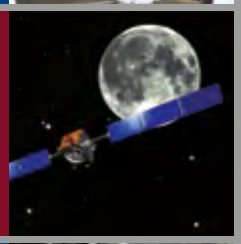
artemis
Start: 2001
Demonstration der Technologien für die Telekommunikation



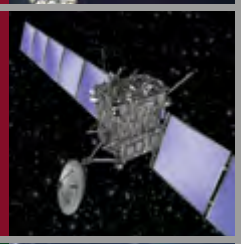
mars express
Start: 2003
Europas erster Orbiter um den Roten Planeten



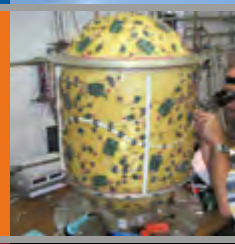
smart-1
Start: 2003
Experimentelle Mondmission



rosetta
Start: 2004
Deep-Space-Mission zum Rendezvous mit Kometen



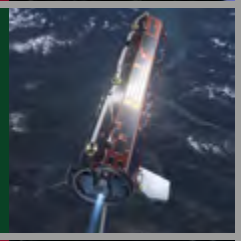
sloshsat
Start: 2005
Erforschung von „Kraft-stoffschwappeffekten“



atv
Start: 2008, 2011, 2012, 2013, 2014
Raumfrachter für den Nachschub der ISS

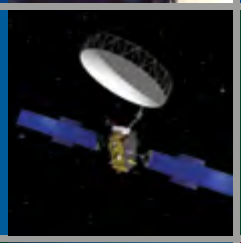
columbus
Start: 2008
Europas Forschungslabor auf der ISS

goce
Start: 2009
Kartierung der Erdgravitation



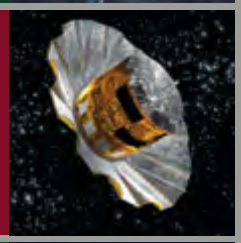
herschel
Start: 2009
Astronomiemission im fernen Infrarotbereich

alphasat
Start: 2013
Innovative Satelliten-Telekommunikations-plattform



swarm
Start: 2013
Satellitentrio zur Kartierung des Erdmagnetfeldes

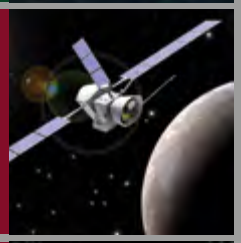
gaia
Start: 2013
Mission zur Kartierung einer Milliarde lokaler Sterne in 3D



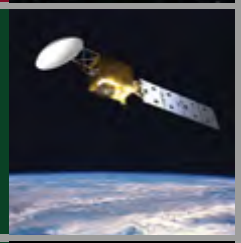
sentinel familie
Erster Start: 2014
Mehrere operationelle Erdbeobachtungs-missionen

adm-aeolus
Start: 2015
Kartierung des globalen Windfeldes der Erde

bepicolombo
Start: 2016
Europas erste Mission zum Merkur

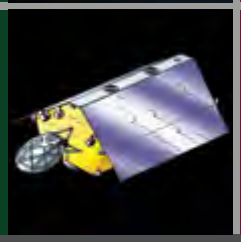


earthcare
Start: 2016
Studie der Rollen von Wolken und Aerosolen für unser Klima

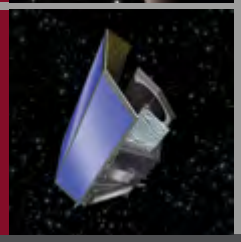


exomars
Start: 2016, 2018
Marsorbiter und -landegerät, danach folgt der Rover

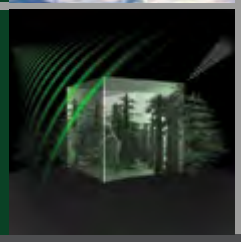
jason cs
Start: 2019
Höhenmessung der Erdozeane



euclid
Start: 2020
Kartierung der Effekte dunkler Materie und dunkler Energie auf das Universum



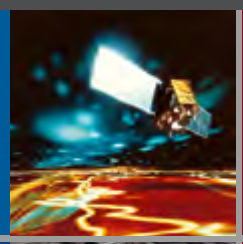
biomass
Start: 2020
Messung der Waldbiomasse



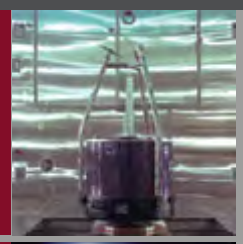
juice
Start: 2022
Europas erste Mission zum Jupitersystem

geos-1 & -2
Start: 1977, 1978
Untersuchung der Dynamik des Erdmagnetfeldes, der Wellen und Partikel

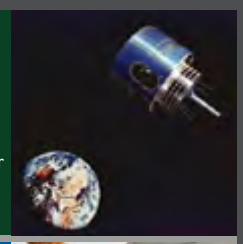
ots-1 & -2
Start: 1977 (fehlgeschlagen), 1978
Demonstration der Technologien für die Telekommunikation



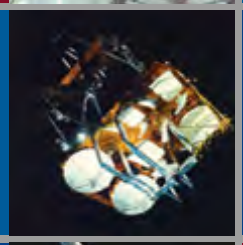
isee-2
Start: 1977
Kartierung der Beziehungen zwischen Sonne und Erde und des Magnetfeldes



meteosat serie
Start: 1977, 1981, 1988, 1989, 1991, 1993, 1997, 2002
Europas Wettersatelliten für tägliche Wettervorhersage

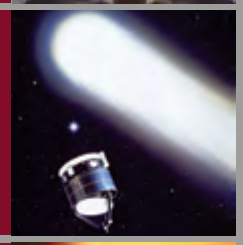


ecs serie
Start: 1983, 1984, 1985, 1987, 1988
Operationelle europäische Telekommunikations-satelliten



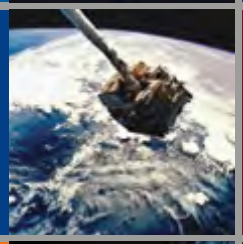
spacelab
Erster Start: 1983
Labormodul für das Space Shuttle der NASA; 22 Starts

giotto
Start: 1985
Abfangen der Kometen Halley und Grigg-Skellerup

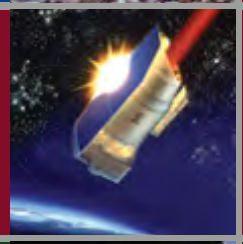


olympus
Start: 1989
Demonstration der Technologien für die Telekommunikation

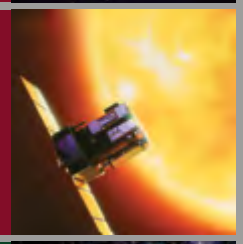
eureca
Start: 1992
Wiederverwendbarer, frei fliegender Mikrogravitations-Träger



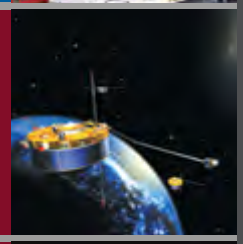
iso
Start: 1995
Infrarotastronomie



soho
Start: 1995
Stete Beobachtung der Sonne



cluster
Start: 1996 (fehlgeschlagen), 2000
Plasmaphysik im Weltraum in 3D



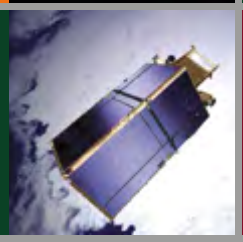
proba serie
Start: 2001, 2009, 2013
Demonstration der Technologie von Mikrosatelliten

envisat
Start: 2002
Umweltsatellit mit 10 Instrumenten

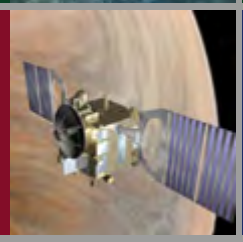
msg serie
Start: 2002, 2005, 2012
Meteorologische Satelliten zweiter Generation

integral
Start: 2002
Gammastrahlen-astronomie

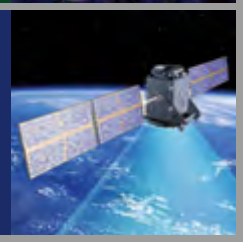
cryosat
Start: 2005 (fehlgeschlagen), 2010
Messung der Poleisdicke



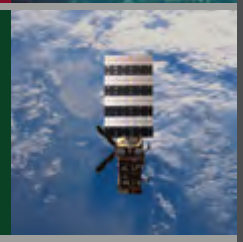
venus express
Start: 2005
Europas erster Orbiter um die Venus



giove-a & b
Start: 2005, 2008
Demonstration der Technologien für Galileo

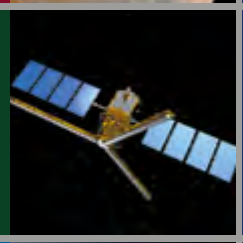


metop serie
Start: 2006, 2012
Polarmeteodienste

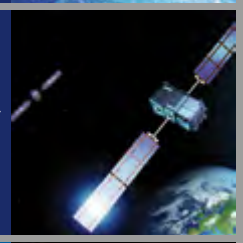


planck
Start: 2009
Kartierung der kosmischen Mikrowellen-hintergrundstrahlung

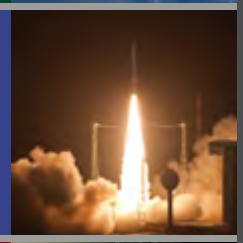
smos
Start: 2009
Messung der Bodenfeuchtigkeit und des Salzgehalts der Meere



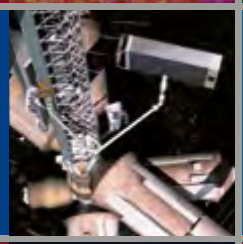
galileo
Erster Start: 2011
Europas globales Satelliten-navigationssystem



vega
Erster Start: 2012
Europas Trägerrakete für kleine Satelliten

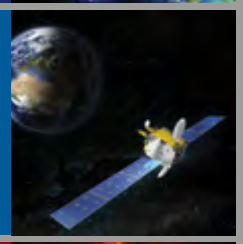


european robotic arm
Start: 2014
Roboterarm, der das russische Segment der ISS bedient

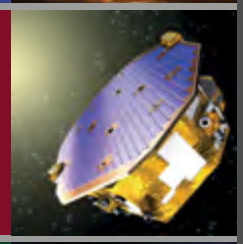


edrs
Erster Start: 2015
Geostationärer Satellit zur Satellitendatenüber-tragung

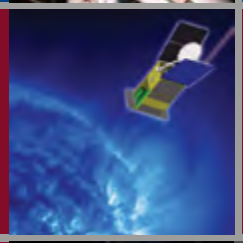
smallgeo
Start: 2015
Neue kleine Plattform für geostationäre Telekommunikation



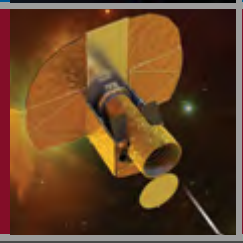
lisa pathfinder
Start: 2015
Technologiedemonstration für die Erkennung von Gravitationswellen



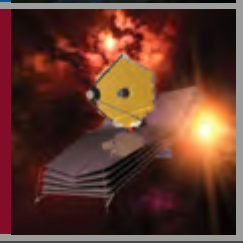
solar orbiter
Start: 2017
Europas Mission nahe der Sonne



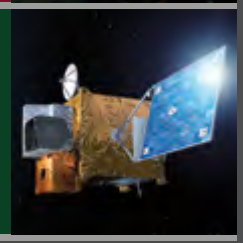
cheops
Start: 2017
Studie von Planeten, die andere Sterne umkreisen



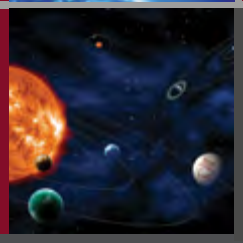
james webb space telescope
Start: 2018
Zwei Instrumente für das nächste große Raumfahrt-observatorium



mtg serie
Start: 2018
Europäische Meteorologiesatelliten der dritten Generation



plato
Start: 2024
Planetenjagd über unser Sonnensystem hinaus



Erdbeobachtung

Bemannte Raumflüge & Betrieb

Trägerraketen

Galileo-Programm & Navigationsaktivitäten

Wissenschaft & Roboterforschung

Technik- & Qualitätsmanagement

Telekommunikation & integrierte Anwendungen

Weitere Informationen
www.esa.int/missions

Bildnachweis:

Alle Bilder durch ESA-Urheberrecht geschützt, falls nicht anders angegeben. Das Kürzel ESA und das ESA-Logo sind Marken der Europäischen Weltraumorganisation. Erlaubnis zur Kopie oder Vervielfältigung des durch Urheberrecht geschützten Materials von Dritten muss beim betroffenen Urheberrechtsinhaber eingeholt werden.

EINFÜHRUNG
10–11 ESA–N. Imbert-Vier

1. KAPITEL
16–17 ESA/LFI & HFI Consortia – Hauptbild; ESA/Planck-Zusammenarbeit (Mikrowellen); NASA/DOE/Fermi LAT/Dobler et al./Su et al. (Gammastrahlung) – eingesetztes Bild
18–19 ESA/Planck-Team
20–21 V. Springel – Universität Heidelberg/MPI für Astrophysik – Hauptbild und eingesetzte Bilder
22–23 ESA/SPIRE/Herschel-ATLAS – Quellbild; ESA–AOES Medialab – eingesetztes Bild
24–25 ESA–A. Le Floc'h
26–27 ESA/PACS/SPIRE/M. Hennemann & F. Motte, Laboratoire AIM Paris-Saclay, CEA/Irfu – CNRS/INSU – Univ. Paris Diderot, Frankreich – Hauptbild; ESA/Herschel/SPIRE/PACS/D. Arzoumanian (CEA Saclay) für die Umfrage 'Gould Belt survey' Key Programme Consortium – eingesetztes Bild
28–29 NASA/CXC/SAO & ESA – Hauptbild; ESA/NASA/CXC/Universität Potsdam/L. Oskinova – Bild oben rechts; ESA–C. Carreau – Bild des Raumschiffes unten rechts
30–31 Infrarot: ESA/Herschel/PACS/SPIRE/J. Fritz, U. Gent; Röntgen: ESA/XMM-Newton/EPIC/W. Pietsch, MPE
32–33 NASA
34–35 NASA, ESA, M. Postman (STScI) und das CLASH-Team – Hauptbild; ESA–C. Carreau – eingesetztes Bild
37 NASA – eingesetztes Bild
38–39 STFC – Hauptbild; Ball Aerospace – Bild oben links; Astrium/NIRSpec – Bild unten links
40–41 ESA–AOES Medialab – Hauptbild; Astrium France – eingesetztes Bild
42–43 Astrium Frankreich – Hauptbild; Astrium – eingesetztes Bild
44 ESA/Astrium
45 NASA – Gravitationswellenbild

2. KAPITEL
50–51 ESA–C. Carreau – Quelle Hauptbild; ESA/NASA/JPL/Univ. Arizona – Quelle Bild in der Mitte; NASA/JPL/Caltech – eingesetztes Bild unten
52–53 NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute
54–55 CICLOPS, JPL, ESA, NASA
56–57 ESA–AOES Medialab – Hauptbild; NASA/JPL/Univ. Arizona – Bild oben links; NASA/JPL/DLR – Bild unten links
58–59 ESA–AOES Medialab – Hauptbild; ESA–J. Huart – Bild rechts
60–61 ESA–OSIRIS-Team; MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA
62–63 ESA–J. Mai – Hauptbild; CIVA/Philae Consortium/ESA – eingesetztes Bild
64–65 ESA–Mars Express-Team – Hauptbild; ESA–C. Carreau – eingesetztes Bild
66–67 ESA–AOES Medialab – eingesetztes Bild unten; ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum) – alle anderen Bilder
68–69 ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)
70–71 ESA/NASA/JPL – Hauptbild; ESA–AOES Medialab – eingesetztes Bild
72–73 INAF–IASF–Rome/PLAB – Hauptbild; DLR/PEL (J. Helbert) – eingesetztes Bild oben; ESA/INAF-IASF, Rom, Italien, und Observatoire de Paris, Frankreich DLR/PEL – eingesetztes Bild unten
74–75 NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington – Bild rechts
76–77 ESA–A. Le Floc'h
78–79 ESA/NASA–SOHO
80–81 ESA/NASA–SOHO EIT Consortium – Quellbild
82–83 Sebastian Voltmer/www.astrofilm.com – Hauptbild
84–85 ESA/SMART-1/Space-X (Space Exploration Institute), ESA/SMART-1/AMIE Kamerateam – Hauptbild; Kanada-Frankreich–Hawaii Telescope – eingesetztes Bild
86–87 ESA ©2009 MPS for OSIRIS-Team MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA – Hauptbild; VIRTIS-M Team in INF-IFSI und INAF-IASF, Rom, Italien – eingesetztes Bild oben; ESA/DLR/Freie Universität Berlin – eingesetztes Bild unten

3. KAPITEL
90–91 ESA–P. Carril – Hauptbild; M.Busch, R. Kresken, Starkenburg-Sternwarte Heppenheim – eingesetztes Bild
92 Thales Alenia Space – Quellbild
93 EADS CASA Espacio – linkes Bild; ND SatCom – rechtes Bild
94 ESA–P. Carril – Bild oben; ESA–J. Huart – Bild unten
95 ESA–S. Corvaja
96–97 ESA–A. Le Floc'h; OHB – eingesetztes Bild
98–99 Astrium – eingesetztes Bild
100–101 ESA–P. Carril
102–103 Dassault Falcon – Hauptbild; ESA–J. Huart – eingesetztes Bild unten
104–105 Eumetsat – Hauptbild; ESA/MSG Team – eingesetztes Bild

4. KAPITEL
110–111 ESA/CNES/Arianespace – Optique vidéo du CSG (P. Baudon)
112–113 ESA–S. Corvaja – Hauptbild; ESA–P. Carril – eingesetztes Bild
114–115 ESA–C. Lezy – Hauptbild; ESA–A. Van Der Geest – eingesetztes Bild
116–117 ESA–M. Pedoussaut
118–119 ESA–F. Alvarez Lopez
120-121 ESA–F. Alvarez Lopez

5. KAPITEL
124–125 ESA/Eumetsat – Hauptbild; ESA–Silicon Worlds – Bild mit Anmerkung; ESA–AOES Medialab – eingesetztes Bild
126–127 ESA–Phi-Hung – Hauptbild; Eumetsat – Bild ganz unten
130–131 ESA–Denman Productions – Hauptbild; ESA/CNES/Arianespace – Optique vidéo du CSG – eingesetztes Bild
132–133 Astrium GmbH – Bild oben links; Astrium UK – Bild unten rechts; ESA–P. Carril – alle anderen Bilder
135 DLR/ESA/IUP, Univ. Bremen – Quelle eingesetztes Bild
136–137 KNMI/ESA – Hauptbild; DLR – eingesetzte Bilder
145 ESA/DMI/NIC
150–151 CRI-ST/CNES/ESA/GeoEye/NASA/VITO – Hauptbild; ESA–Globcover – eingesetztes Bild
158–159 DLR
162–163 DLR
166–167 European Space Imaging (EUSI) – Hauptbild
168–169 European Space Imaging (EUSI) – Hauptbild; ESA–P. Sebirot – eingesetztes Bild
170–171 ESA–J. van Haarlem, A. Le Floc'h
172–173 ESA/HPF/DLR – Hauptbild; ESA–AOES Medialab – eingesetztes Bild
174 CATDS, IFREMER, CESBIO, ESA – Hauptbild; ESA–AOES Medialab – eingesetztes Bild
175 CATDS, IFREMER, CESBIO, ESA – Hauptbild; NRAO/AUI – eingesetztes Bild
176–177 CPOM – Hauptbild; ESA–AOES Medialab – eingesetztes Bild
178–179 ESA–R. Bock/IAGB – Hauptbild; ESA–AOES Medialab – eingesetztes Bild
180 ESA–S. Corvaja
181 ESA–M. Valentini

6. KAPITEL
184–185 ESA/NASA
186–187 NASA
188–189 ESA–S. Corvaja – eingesetztes Bild unten; NASA – alle anderen Bilder
190 NASA
191 NASA – Bild oben; ESA/NASA –Bild unten links; NASA–JSC – Bild unten rechts
192–193 NASA
194 ESA/CNES/Arianespace – Optique vidéo du CSG (J.M. Guillon) – Bild links; Source image ESA–D. Ducros – Bild rechts mit Anmerkung
195 ESA–A. Le Floc'h
196–197 ESA/NASA – Hauptbild; ESA/CNES/Arianespace – Optique vidéo du CSG – eingesetztes Bild
198–199 ESA/NASA–D. Pettit – Hauptbild; ESA/NASA – eingesetztes Bild unten; NASA – eingesetztes Bild oben
200–201 NASA
202–203 ESA–A. Le Floc'h – Hauptbild und eingesetztes Bild unten; Novespace – eingesetztes Bild oben
204–205 NASA
206–207 ESA–H. Rub

208–209 ESA–S. Corvaja
210–211 ESA–S. Corvaja – Hauptbild; NASA–C. Cioffi – eingesetztes Bild
212–213 ESA–S. Corvaja
214–215 NASA
216–217 NASA
218–219 ESA/NASA
220–221 ESA/NASA
222–223 NASA – Hauptbild; FFI – eingesetztes Bild
224 NASA–B. Ingalls – Hauptbild; ESA–S. Corvaja – eingesetztes Bild
225 NASA–B. Ingalls – Hauptbild; ESA–S. Corvaja – eingesetztes Bild
226–227 W. Joris/www.oxidiser.nl – Hauptbild; R. Vandebergh – eingesetztes Bild
228–229 ESA–V. Crobu
230–231 ESA/IPEV/PNRA–A. Kumar – Hauptbild; ESA/Mars500-Team – eingesetztes Bild unten;
ESA/E. Macdonald-Nethercott – eingesetztes Bild oben

7. KAPITEL
234–235 ESA–S. Corvaja
236–237 ESA–S. Corvaja
238–239 ESA–S. Corvaja
240–241 ESA–S. Corvaja
242–243 ESA–S. Corvaja – Hauptbild; Arianespace – eingesetztes Bild
244–245 ESA–A. Chance – Hauptbild; ESA–S. Corvaja – eingesetztes Bild
246–247 ESA–R. Madde
248–249 ESA–J. Mai

8. KAPITEL
254–255 ESA–A. Le Floc'h
256–257 ESA–A. Le Floc'h
258–259 ESA–A. Le Floc'h
260–261 ESA–A. Le Floc'h – Hauptbild
262–263 ESA–W. Pearson
264–265 ESA–A. Le Floc'h
266–267 ESA–A. Le Floc'h

9. KAPITEL
272–273 Astrium – Hauptbild; FormTech – eingesetztes Bild
274 ESA–AOES Medialab
275 Leosphere
276–277 Nigel Young/Foster + Partners
278–279 ESA–S. Corvaja – Hauptbild; MDUSpace – eingesetztes Bild
280–281 ESA–A. Le Floc'h – Hauptbild; M. Kretschmer – eingesetztes Bild oben; MAVinci – eingesetztes Bild unten
282–283 ESA–A. Le Floc'h

10. KAPITEL
286 ESA–S. Corvaja
287 ESA/CNES/Arianespace – Optique vidéo du CSG (L. Mira) – eingesetztes Bild
288–289 ESA–P. Carril – Quellbild
290–291 Caren Jarmain, UKZN
292–293 Altobridge
294–295 nextgenlog/Stirling Energy Systems
296–297 UAB
298–299 ESA–D. Baumbach – Hauptbild; H.v.d. Lande/Space Expo – eingesetztes Bild links; ESA–A. Le Floc'h – eingesetztes Bild rechts

Einband: ESA ©2009 MPS for OSIRIS-Team MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA

esa

European Space Agency

ESA-Mitgliedsstaaten

Belgien
Deutschland
Dänemark
Finnland
Frankreich
Griechenland
Großbritannien
Irland
Italien
Luxemburg
Niederlande
Norwegen
Polen
Portugal
Rumänien
Schweden
Schweiz
Spanien
Tschechische Republik
Österreich

An ESA Communications Production
Copyright © 2014 European Space Agency
www.esa.int