



NUMMER 2/2000

## Die Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

Materialien für den naturwissenschaftlichen Projektunterricht



## Die Welt wird neu vermessen

**A**m 23. Februar 2000 kehrte der Space Shuttle Endeavour erfolgreich zur Erde zurück – von einem der ehrgeizigsten Unternehmen in der Geschichte der Raumfahrt, der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Ihr Ziel war es, unsere Welt mit neuen Augen zu erfassen.

Sechs Astronauten, darunter der deutsche Wissenschafts-Astronaut Gerhard Thiele, hatten elf Tage lang in 233 Kilometern Höhe die Erde umkreist und mit zwei Radarsystemen „Stereobilder“ unseres Planeten aufgezeichnet. 332 Magnetbandkassetten voller Daten brachte die Endeavour zurück zur Erde, eine Informationsflut, die 20.000 CDs füllen würde. Diese Daten bilden die Grundlage für eine dreidimensionale Karte der Welt, die mit einer Auflösung von 30 mal 30 Metern und einer Höhengenaugigkeit von sechs Metern präziser sein wird als alle bisherigen Landkarten. Für Wissenschaft und Wirtschaft bedeutet diese digitale Landkarte eine technische Revolution. Sie eröffnet eine Fülle neuer Anwendungsmöglichkeiten – vor allem in Umweltschutz, Navigation, Telekommunikation und Landschaftsplanung.



Die bekannte Welt nach  
Claudius Ptolemäus,  
Adaption der Original-  
karte von 1482.



## Kartografie: Vom Papyrus zum Radar

**K**arten von der Erde sind so alt wie die menschliche Zivilisation. Sie wurden in Stein geritzt, auf Papyrus oder Pergament geschrieben, mit allen möglichen Verfahren gedruckt oder gemalt. Die ersten Karten dürften spontane Zeichnungen im Sand gewesen sein. Jede Karte vermittelt auch ein Stück des Weltbildes ihrer Zeit und zeugt von den Vermessungstechniken ihrer Epoche.

Es klingt unglaublich, aber in vielen Regionen ist die Erde auch heute noch schlechter vermessen und kartiert als der Mond. Zahlreiche [Geodäten](#) und Kartografen begleiteten zwar die Expeditionen im 18. und 19. Jahrhundert, und auch in der Kolonialzeit wurden viele Länder der so genannten Dritten Welt kartografisch erfasst. Doch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts veralteten

diese Karten natürlich, und es fehlte vielen Ländern an Geld, um die Landvermessung systematisch fortzusetzen. So gibt es auch heute noch „weiße Flecken“ auf unseren Landkarten. Das sind beispielsweise Teile Afrikas, des nördlichen Sibiriens und Kanadas. Auch manche Gebiete in China sind bis heute kaum erforscht.

Ihre Unzugänglichkeit, aber auch mangelndes wirtschaftliches Interesse an der Erschließung entlegener Regionen waren dafür verantwortlich, dass einige Gebiete der Welt lange Zeit nur schlecht vermessen oder sogar unkartiert blieben.

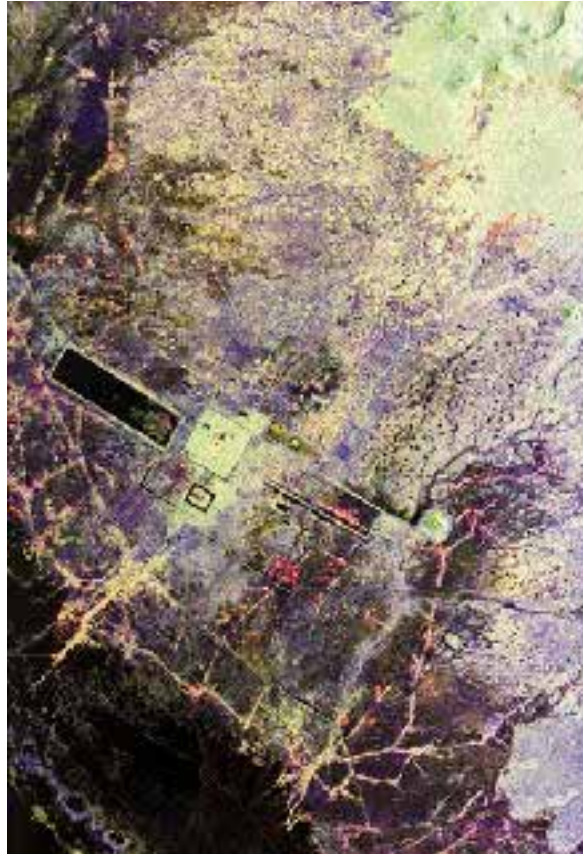
Das hat sich mit Beginn der satellitengestützten Erderkundung allmählich geändert. Seither wird die Erde von unterschiedlichsten Sensoren, darunter auch „Radaraugen“, aus dem All betrachtet. Radar funktioniert auch bei Dunkelheit und kann Wolken durchdringen. Ein Mangel der bisherigen Fernerkundung aus dem All blieb allerdings die [Inhomogenität](#) der Datensätze: Zwar wurden einzelne Gebiete sehr genau vermessen, doch geschah dies zu verschiedenen Zeiten und mit unter-

schiedlichen Methoden. Die gewonnenen Datensätze ergaben daher nur ein sehr ungenaues Bild der Erdoberfläche. SRTM lieferte erstmals einen hochpräzisen, homogenen Datensatz aus einem Guss.

### Radaraugen sehen mehr

In den 80er-Jahren wurden mehrfach Radarsysteme auf Raumfähren eingesetzt. Das Verfahren erhielt die Bezeichnung Shuttle Imaging Radar, kurz SIR. Ein Jahrzehnt später folgten die Radarsatelliten ERS-1 und ERS-2 und zwei Shuttle Missionen mit dem amerikanischen SIR-C und dem deutsch-italienischen X-SAR an Bord – Radarsensoren, die in drei verschiedenen Bändern arbeiten. Dieser Einsatz von drei Frequenzbereichen hat einen entscheidenden Vorteil: Die jeweiligen Wellenlängen werden unterschiedlich von der Oberfläche reflektiert bzw. sie dringen sogar unterschiedlich tief in den Boden ein. Auf diese Weise erhält man Bilder mehrerer Ebenen. Diese Technik ist auch für die archäologische Forschung interessant. So entdeckten Wissenschaftler auf Bildern der Radar-Shuttle-Mission im April 1994 neben der heutigen chinesischen Mauer die Überreste einer noch älteren Befestigungsanlage, die vom Boden aus nicht sichtbar ist.

Kombiniert man die Daten von zwei parallel versetzten Radarantennen, kann man Daten für präzise Reliefkarten des überflogenen Gebietes gewinnen. Mit dieser neuen Technik haben die beiden Geräte an Bord der Endeavour vom 11. bis zum 21. Februar 2000 nahezu die gesamte Landmasse der Erde zwischen dem 60. Grad nördlicher und dem 56. Grad südlicher Breite vermessen.



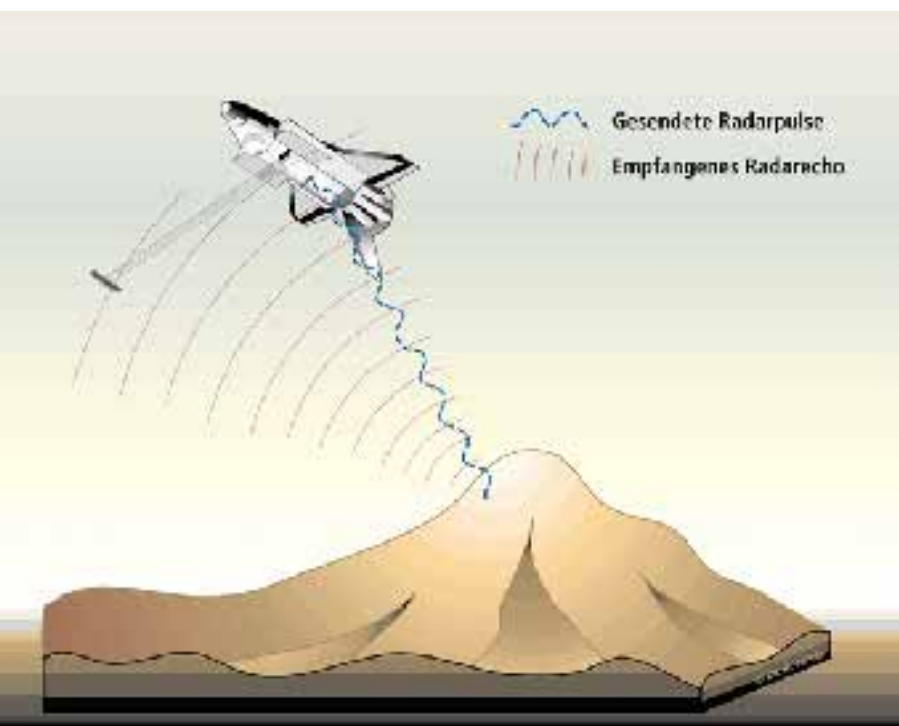
*Bilder der zweiten Radar-Shuttle-Mission im Herbst 1994 machten erst die ganzen Ausmaße der überwucherten Tempelanlage Angkor im kambodschanischen Dschungel sichtbar. Archäologen vermuten, dass die dunkelblauen Flecken nordöstlich des hellen Quadrats in der Bildmitte, des Zentrums der Tempelanlage, bisher unentdeckte Gebäudekomplexe sind.*



Beide Bilder zeigen das Nuur-Becken im Norden der Mongolei, nahe der russischen Grenze. Mit einer Auflösung von 25 Metern lässt die SRTM-Aufnahme (links) deutlich mehr Details erkennen. Das bislang beste globale Höhenmodell GLOBE (rechts) bietet mit 1.000 Metern Auflösung nur ein verschwommenes Bild.

## Radar-Interferometrie – die ideale Technik

Radargeräte haben gegenüber anderen Sensoren, die in der Fernerkundung eingesetzt werden, zwei Vorteile: Zum einen liefern sie auch nachts Daten, denn sie benötigen kein Sonnenlicht, da sie ja ihre eigenen „Strahlen“ aussenden. Zum anderen durchdringt die Radarstrahlung auch Wolken. Die Gebiete der Erde können also bei jedem Wetter vermessen werden. Die Radarinstrumente sind damit für eine Shuttle-Mission ideal, weil sie rund um die Uhr einsetzbar sind und so eine maximale Datenausbeute erzielt werden kann.



Die Grafik zeigt stark vereinfacht das Prinzip der Radar-Interferometrie von SRTM: Die gesendeten Radarpulse (blau) werden von der Erdoberfläche reflektiert. Empfangsantennen in der Ladebucht des Shuttle und an der Spitze des Mastes empfangen das Radarecho (hellbraun) zeitversetzt.

### Ein Puzzle der Erdoberfläche

Bei der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) flogen zwei Radargeräte mit, die sich schon auf früheren Missionen als Doppelpack an Bord von Raumfähren bewährt hatten. Es handelt sich um das von der NASA entwickelte SIR-C (Shuttle Imaging Radar), das mit einer Frequenz von 5,6 Giga-

hertz arbeitet, und das deutsch-italienische X-SAR (X-Band Synthetic Aperture Radar) – seine Arbeitsfrequenz ist 9,6 Gigahertz. Das SIR-C tastete die Erde in einem 225 Kilometer breiten Streifen ab und erfasste so das überflogene Gebiet zwischen 60 Grad nördlicher und 56 Grad südlicher Breite. Das X-SAR nahm das Terrain in 50 Kilometer breiten Streifen auf und erfasste nur 40 Prozent der überflogenen Fläche, aber mit einer deutlich besseren Höhengenaugigkeit von sechs Metern gegenüber zehn Metern beim SIR-C.

Die horizontale Auflösung beider Systeme betrug 30 Meter. Jede Sekunde haben sie rund 1.700 Mikrowellenpulse zur Erde geschickt und die rückgestreuten Signale wieder aufgefangen, digitalisiert und gespeichert – eine ungeheure Datenflut von 270 Millionen Bit pro Sekunde.

### Der „Stereo-Blick“ auf die Erde

Eine Besonderheit bei SRTM war die Methode, mit der die Radarechos aufgefangen wurden: die so genannte Interferometrie. Damit lässt sich erstmals eine einheitliche dreidimensionale Darstellung der Erdoberfläche erzeugen.

Anders als bei den Vorläufermissionen in den Jahren 1994 bildeten die Radargeräte diesmal ein „Augenpaar“, das Stereo „sehen“ kann. In der Ladebucht der Endeavour, die mit dem Rücken zur Erde gewandt flog, waren zwei Antennen, beide zum Senden und Empfangen, untergebracht. Nach dem Start wurde in der Umlaufbahn zusätzlich ein 60 Meter langer Mast aus leichten und zugleich hochstabilen Karbonfasersegmenten ausgefahren, an dessen Spitze zwei weitere Antennen für den Empfang befestigt waren. Beide Antennenpaare empfangen „stereo“ die zurückkehrenden Radarsignale – aufgrund ihrer unterschiedlichen Position allerdings mit einem kleinen zeitlichen Abstand. Auf diese Weise entstanden von jedem Punkt des vermessenen Geländes parallel zwei unterschiedliche Radaraufnahmen. Aus der Differenz zwischen beiden bestimmen Computer später über aufwändige Rechenverfahren die Geländehöhe. Diese Werte können dann in dreidimensionale Karten umgesetzt werden.

# In 90 Minuten um die Erde

Eine Reise ins All erfordert jahrelange Planung. Weil die Zeit besonders im All Geld ist, muss jeder Handgriff minutiös vorbereitet sein. Für Astronauten und Bodenbetriebsteams bedeutet dies höchste Konzentration und großen persönlichen Einsatz – aber auch das Glück, dass ein Traum in Erfüllung geht. Doch nicht alles lässt sich vorausplanen, wie der Ablauf des elftägigen Fluges der Endeavour zeigt. Gutes Teamwork und Einfallsreichtum sind deshalb unverzichtbar.



Diese sechs Astronauten aus drei Ländern, unter ihnen vier Wissenschaftler, flogen ins All, um die Erde neu zu vermessen. Von oben im Uhrzeigersinn: Janice Voss, Pilot Dominic L. Pudwill Gorie, Janet Lynn Kavandi (USA), Gerhard Thiele (Deutschland), Mamoru Mohri (Japan) und Kommandant Kevin R. Kregel (USA).

## Stationen einer Reise ins All

### Freitag, 11.2. – 11:43 Uhr Ortszeit:

Die Endeavour startet in Cape Canaveral. Nach Verlassen der Erdatmosphäre aktivieren die Astronauten die Radarinstrumente. Sie öffnen die Ladebuchttüren, fahren den Auslegermast aus und positionieren ihn. Bodenbetriebsteams des DLR und des Jet Propulsion Laboratory (JPL) in Houston/Texas übernehmen die Steuerung der Radargeräte.

### Samstag, 12.2.:

14 Stunden nach dem Start beginnt die Kartierung, das so genannte Mapping. Die ersten Radaraufnahmen entstehen über Teilen von Neuseeland, Australien, Südafrika und Nordost-Kanada. Nach 90 Minuten ist der erste Streifen einmal um die Erde gezogen.

### Sonntag, 13.2.:

Eine Stickstoffdüse, die den Mast in seiner Position halten soll, verursacht Probleme: Sie leistet keinen Schub mehr. Der Mast driftet nach oben und dreht dabei die Endeavour aus ihrer Rückenlage. Mit Hilfe der Steuerdüsen muss der Shuttle nun gegensteuernd die Lage stabilisieren. Dies bedeutet erhöhten Treibstoffverbrauch. Muss die Mission früher als geplant beendet werden?

### Montag, 14.2.:

Die Astronauten haben seit Beginn der Mission 70 Sonnenauf- und -untergänge erlebt. Bereits 26,1 Millionen Quadratkilometer der Erde, darunter Teile von Europa, Nord- und Südamerika, Afrika und Neuseeland wurden vermessen.

### Mittwoch, 16.2.:

Das Kontrollzentrum in Houston nutzt jede Möglichkeit, um Treibstoff zu sparen: Selbst der Rückstoß, der beim Abpumpen des Brauchwassers in den Weltraum entsteht, wird für die Stabilisierung der Lage eingesetzt. Die Mission kann fortgesetzt werden.

### Montag, 21.2. – 7:37 Uhr:

Die Crew deaktiviert die Radarinstrumente und fährt den Antennenmast wieder ein. In letzter Sekunde hakt plötzlich der Deckel seines Behälters. Doch zur Landung muss die Luke geschlossen sein. Gelingt es nicht, den Deckel zu schließen, muss der Mast abgesprengt werden. Die Ursache für das Problem könnten durch die eisige Kälte versteifte Kabel sein. Mehr als zwei Stunden läuft das Heizsystem des Behälters auf Hochtouren, dann endlich schließt die Luke.

### Mittwoch, 23.2., Landing Day – 15:54 Uhr:

Die Endeavour landet sanft in Cape Canaveral. SRTM ist planmäßig abgeschlossen.



Der deutsche Astronaut Gerhard Thiele führte während der Mission ein Bordtagebuch.

## Aus dem Bordtagebuch Gerhard Thieles

### Bordtagebuch L-1 (30.01.2000) :

Heute ist die Entscheidung gefallen: wir sollen morgen starten. Die letzten technischen Fragen sind geklärt, jetzt heißt es Daumen drücken und hoffen, dass das Wetter mitspielt. Der Tag vor dem Start ist aus vielen Gründen ein ganz besonderer Tag. Für mich deshalb, weil es heißt „Auf Wiedersehen“ zu sagen zu Familie und Freunden. Das ist sehr viel schwerer als ein noch so anstrengender Trainingstag ...

### Bordtagebuch L-1, die zweite! (31.01.2000) :

Aufstehen, Frühstück (für mich gab es Rührei mit Speck und Orangensaft), das Anlegen und Austesten der orangefarbenen Raumanzüge, es lief wie am Schnürchen. Dann die erste „Panne“: Der Astrovan, der uns zum Launch Pad fährt, hält am Launch Control Center an: „Bitte die Shuttle Boarding Pässe abgeben“. Alle, bis auf mich, zaubern im Handumdrehen eine gelbe Karte, nicht viel größer als eine Kreditkarte, aus einer der Taschen des Raumanzuges hervor. Von einer solchen Karte habe ich noch nie gehört und sitze da wie vom Donner gerührt. Erst nach etlichen Schrecksekunden merke ich, dass ich als „Weltraumneuling“ einem Streich aufgesessen bin. Das kann ja noch heiter werden. Der Blick zum Himmel zeigt uns sofort, dass die Chancen auf einen Start klein sind. Trotzdem, vielleicht haben wir ja Glück: Vier Stunden liegen wir in der Endeavour auf unserem Rücken, zwei Stunden länger als vorgesehen. Ein zusätzliches, technisches Problem macht die Entscheidung durch den NASA Launch

Director einfach: Der Start wird auf morgen verschoben. Zurück in unserer Unterkunft, dem Astronaut Crew Quarter, treffen wir noch einmal unsere Familien. Sie sind genauso gelassen wie wir. \*

### 10.2.2000: L-1, zum Dritten

Wir, das sind Janet, Kevin und ich, kommen gerade vom „night viewing“ zurück. Es ist ein beeindruckendes Erlebnis. Der Shuttle steht frei auf der Startrampe, die Serviceplattform ist zurückgerollt. Dutzende Scheinwerfer strahlen die Endeavour an. Über uns wölbt sich ein klarer Sternenhimmel. Morgen werden wir zu diesem Sternenhimmel gehören und die Erde als ein heller Stern umkreisen. Ich versuche mich hinaufzudenken, versuche mir vorzustellen, wie es sein muss, auf die Erde zu sehen, aber es will mir nicht gelingen. Morgen werde ich es wissen.

### Flight day 1

„Who wants to fly in space? Six seats are empty, first come – first served!“ So werden wir von Kevin geweckt. Wir wissen, die Zeichen für einen Start stehen gut, der Himmel über Florida strahlt im schönsten Blau. Wir kennen den Ablauf der nächsten Stunden sehr genau. Auch als der Countdown bei T-9 länger als die geplanten 10 Minuten angehalten wird, kommen keine Zweifel auf, dass wir heute starten werden. Während die Minuten herunterzählen und zu Sekunden werden, höre ich sehr konzentriert auf den Funkverkehr – alles verläuft normal. Da zünden die Haupttriebwerke, ein Rumoren und Vibrieren geht durch den Shuttle. „Wo bleiben die Feststoffraketen?“ schießt es mir durch den Kopf, aber die sieben Sekunden vom Anlassen der Haupttriebwerke bis zum Zünden der Feststoffraketen dauern länger als ich erwartet habe. Doch dann, als die Feststoffraketen brennen, gibt es keinen Zweifel – wir verlassen die Erde. Erst sehr viel später komme ich dazu, darüber nachzudenken, was in diesen achteinhalb Minuten überhaupt passiert ist. Der Blick auf die Erde erscheint zuerst unwirklich, es ist als sähe ich einen Film. Erst als ich meinen Helm abnehme, merke ich, dass etwas anders ist: Der Helm schwebt, gerade da wo ich ihn losgelassen habe. Wir sind in unserer Erdumlaufbahn angekommen.

### Flight day 2

Ich passe mich immer besser an die Schwerelosigkeit an. Gestern abend hatte ich Zeit für die erste richtige Mahlzeit: Was auf dem Speiseplan vorgesehen war, weiß ich nicht – ich weiß nur, wonach mir der Sinn steht: Also gab es

als Vorspeise Shrimp Cocktail, danach gratinierte Kartoffeln (leider ohne die schöne braune Kruste!) mit italienischem Gemüse und zum Nachtisch Erdbeeren. Dass ich dazu keinen Wein trinken kann, kann ich angesichts des Blickes auf die Erde leicht verschmerzen.

#### Flight day 3 (14.02.00)

Das Cold-Gas-System, eine kleine Düse am Ende des Mastes, aus der beständig Stickstoff strömt, gibt uns eine härtere Nuss zu knacken: Der Mast hat die Tendenz, sich aufzurichten und dadurch den Shuttle aus der Lage zu drehen, die für die Radaraufnahmen notwendig ist. Dieses Verhalten wird von dem Cold-Gas-System nicht wie gewünscht korrigiert, wir müssen vermehrt die Steuerdüsen des Shuttle einsetzen, um die richtige Lage im Raum beizubehalten. Das kostet natürlich mehr Treibstoff als geplant. Wir wissen nicht, ob der Treibstoff für die Lageregelung die gesamten elf Tage reichen wird oder ob uns am Ende ein paar Stunden fehlen werden. Aber wir wissen, bei der Missionskontrolle in Houston ist das Problem in erfahrenen und guten Händen. Heute hatte ich das erste Mal die Gelegenheit, unser Fahrradergometer zu benutzen. Ich bin von Skandinavien über Russland und den indischen Subkontinent nach Australien geradelt. Dazu Musik von Paul Simon, Graceland, eine CD, die mir ein Freund mitgegeben hat. Die Schwerelosigkeit gefällt mir immer besser...

#### Flight day 4 (15.02.00)

Wir bekommen die ersten Radarbilder von der Erde nach oben gespielt, und ich muss sagen, ich bin beeindruckt! Auch von der Missionskontrolle gibt es gute Nachrichten: Es zeichnen sich Möglichkeiten ab, Endeavour's Treibstoff für die Lageregelung effizienter einzusetzen.

#### Flight day 6 (17.02.00)

Es gibt einige Möglichkeiten, Treibstoff für die Lageregelung einzusparen. So verteilen wir zum Beispiel den täglichen „water dump“, wobei überschüssiges Wasser in den Weltraum abgelassen wird, auf drei bis vier kleinere dumps pro Tag. Dabei entsteht jedesmal ein kleiner Rückstoß, der zufällig so gerichtet ist, dass wir unsere Lageregelungsdüsen schonen können. Manchmal braucht man einfach etwas Glück! Morgen soll die endgültige Entscheidung fallen, ob wir wie geplant für elf Tage im Orbit bleiben werden.

#### Flight day 7 (18.02.00)

Unser Flug wird wie geplant zu Ende geführt. Das hat der NASA-Missionsmanager heute entschieden. Die Schwerelosigkeit gibt täglich Anlass zu

Überraschungen. Seit Beginn der Mission bin ich drei Zentimeter gewachsen! Damit habe ich unseren 15-jährigen Sohn wieder eingeholt. Doch er muss sich keine Sorgen machen: Wenige Stunden nach der Landung werden die alten Verhältnisse wieder hergestellt sein.

#### Flight day 10 (21.02.2000)

Heute ist unser letzter „mapping“ Tag. Die Missionskontrolle in Houston hat uns grünes Licht für zusätzliche neun Stunden Radaraufzeichnungen gegeben. Die Wissenschaftler freuen sich, dass sie letzte Lücken füllen können.

#### Landing day (22./23.02.2000 MEZ)

Der Wiedereintritt in die Erdatmosphäre ist lauter als ich erwartet hatte. Es ist, als ob ein Flugzeug neben uns starten wollte und minutenlang mit vollem Schub auf der Startbahn stünde. Erst als heftiges Rütteln – danke, Kevin, für die Vorwarnung! – anzeigt, dass wir unter die Schallmauer abgebremst haben, wird es leiser. Im Middeck können wir den Landeanflug nicht sehen. Aber wir verfolgen gespannt die Stimmen im Cockpit und wissen genau, wo wir sind: „10.000 feet – runway in sight“, „3.000 feet – preflare“, „2.000 feet – arm the gear“, „500 feet – gear down, please“. Das Aufsetzen auf die Landebahn merke ich kaum. „Wheelstop, Houston.“ Janice und ich schnallen uns von den Sitzen los. Beim Aufstehen merke ich, dass Erdschwerkraft tatsächlich etwas mit Schwere zu tun hat. Wir stehen etwas unsicher auf den Beinen, irgendetwas zum Festhalten ist stets in Reichweite. Die ersten Gesichter winken durch das Fenster in der Ausstiegsluke zu uns herein.

Wir kriechen durch die Ausstiegsluke, Hände strecken sich uns entgegen, helfen uns beim Aufrichten. Schulterklopfen, Umarmen. „Congratulations“, „Well done“. Wir tauschen unsere schweren Launch-and-Entry-Suits gegen leichtere „Flight Suits“. Beim anschließenden Crew-Walkaround fühle ich eine tiefe Verbundenheit mit unserer Raumfähre Endeavour. She sure was a wonderful ship! Ein Bus bringt uns zurück zum Astronaut Crew Quarter. Als sich die Türen des Aufzuges im dritten Stock öffnen, stehen unsere Familien da. Es ist ein Umarmen und Drücken, ein Lachen und Weinen und Nicht-mehr-loslassen-wollen. Die ersten medizinischen Untersuchungen warten auf uns. Ich bin müde und möchte nur noch schlafen. Doch als wir endlich mit unseren Familien im Hotel angekommen sind, zieht es mich hinaus. Mit Karin mache ich noch bis weit nach Mitternacht einen Spaziergang am Strand. Ich merke keine Müdigkeit und keine unsicheren Beine. Der Himmel zieht sich zu, doch durch eine Wolkenlücke leuchtet uns ein Stern. Ich weiß, ich bin wieder auf der Erde.

\* Anmerkung der Redaktion: Tatsächlich wurde der Start um elf Tage verschoben, was G. Thiele am Abend des 31. Januar noch nicht wissen konnte.

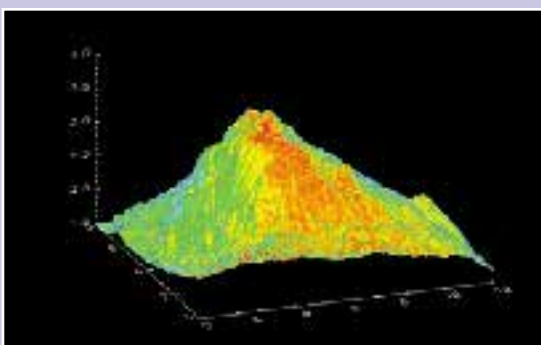
## Die Welt mit Radaraugen sehen

Bereits 1994 hatte die Endeavour die Vielseitigkeit von Radaranwendungen unter Beweis gestellt und spektakuläre Bilder der Erdoberfläche aus dem All mitgebracht. Ausgerüstet mit den Radarsystemen SIR-C und X-SAR war sie zweimal,

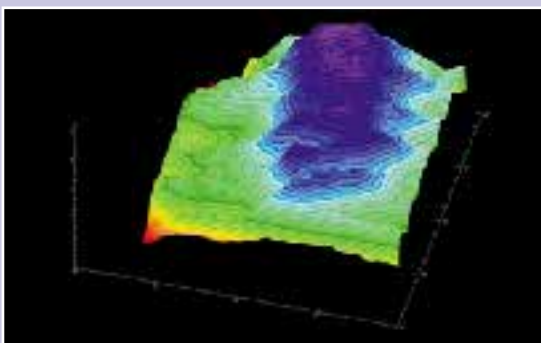
im Frühjahr und im Herbst, für jeweils elf Tage in den Orbit gestartet. Den 60 Meter langen Auslegermast und Stereoantennen hatte sie damals allerdings noch nicht an Bord. Um dreidimensionale Höhenmodelle zu erhalten, kombinierten die Wissenschaftler deshalb zwei Radarbilder desselben Gebietes miteinander. Entsprechend musste die Endeavour jedes Areal zweimal überfliegen – um weniger als 100 Meter versetzt. Man nennt diese Methode Repeat-pass (wiederholter Überflug), im Gegensatz zu Single-pass bei SRTM.

Schon die Missionen 1994 zeigten die grundsätzliche Bedeutung der Radarfernerkundung: Radar kann nachts sehen, durch Wolken schauen und aus dem erdnahen Weltraum auch schlecht erreichbare Gebiete abbilden.

### Repeat-pass-Interferometrie: Aus zwei mach eins



Dieses 3D-Höhenmodell des Vulkans Kilauea auf Hawaii entstand mit Hilfe der Repeat-pass-Interferometrie. Grundlage waren Radaraufnahmen von zwei Überflügen der Endeavour am 13. April und 14. Oktober 1994. Das abgebildete Gebiet hat eine Ausdehnung von 12 mal 4 Kilometer, der Abstand zwischen den Höhenlinien beträgt 20 Meter.



Am 8. und 9. Oktober 1994 wurden die Daten für dieses 3D-Höhenmodell des Ätna auf Sizilien gewonnen. Es war das erste erfolgreiche Interferometrie-Experiment im X-Band mit Überflügen im Abstand von nur einem Tag. Die Fläche des dargestellten Gebietes beträgt 8 mal 12 Kilometer.

Ein eindrucksvolles Beispiel ist die X-Band-Aufnahme des Rio Negro in Brasilien (Seite 9 oben). Das Bild wurde am 17. April 1994 um 1 Uhr 27 Ortszeit, also mitten in der Nacht, aufgenommen. Es zeigt eine schwer zugängliche, oft wolkenverhangene Region. Gut zu erkennen sind sogar enge, regenwaldüberwachsene Nebenstromarme des Rio Negro. Mit Hilfe dieser Aufnahme lässt sich eine exakte Karte des Fluss-Systems mit bisher unerreichter Genauigkeit zeichnen, und mehr noch: Indem die Wissenschaftler verschiedene Radarkanäle miteinander vergleichen, können sie sogar die Biomasse des Regenwaldes im betrachteten Gebiet berechnen.

Diese Untersuchungen sind besonders für die Klimaforschung wichtig, denn die Regenwälder bilden gewissermaßen die „grüne Lunge“ unseres Planeten. Ohne den Blick von oben, wie ihn Raumfahrtssysteme liefern, könnte man diese schwer zugänglichen Gebiete nie kartieren. Und ohne Radarsensoren würden auch andere Raumfahrt-Instrumente an der dichten Bewölkung, die den Regenwald nahezu ständig verdeckt, scheitern.

### Unsichtbares sichtbar machen

Radarwellen können auch durch Objekte auf der Erdoberfläche hindurchsehen – und sogar in den Boden eindringen. Je länger die Wellen des Radarpulses, desto größer die Eindringtiefe. Die so genannte multisensorielle Interferometrie kombiniert Aufnahmen verschiedener Wellenlängen. Sie leistet vor allem für die Klima- und Umweltforschung wichtige Dienste. So werden Radarstrahlen im C-Band (Wellenlänge: 3,75 bis 7,5 Zentimeter) besonders gut von den Baumkronen zurückgeworfen, im L-Band (Wellenlänge: 15 bis 30 Zentimeter) vor allem von den darunter liegenden Stämmen.

Bei den SIR-C/X-SAR Missionen im Frühjahr und Herbst 1994 hob das C-Band besonders deutlich die aufgetauten Nadelbäume der borealen Waldgebiete hervor. Das X-Band (Wellenlänge: 2,4 bis 3,75 Zentimeter) erfasste besser den gefrorenen Baumbestand. Diese Informationen sind notwendig, um exakte Klimamodelle zu errechnen. Denn Wälder speichern den „Ozonkiller“ Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). In gefrorenem Zustand aber können Bäume kein CO<sub>2</sub> speichern.

Radaraufnahmen helfen Wissenschaftlern auch bei der Analyse vulkanischer Aktivität. Dieses multisensorielle Bild zeigt einen Ausbruch des Vulkans Kljutschevskoi auf der russischen Halbinsel Kamtschatka im Oktober 1994. Am Computer wurden die verschiedenen Frequenzbereiche eingefärbt. Hellrot kennzeichnet die vegetationslose, schneebedeckte Zone unterhalb des Kraters. Lavaströme (rosarot) fließen von den Kraterrändern herab. An den Flanken des Kljutschevskoi sind Schlammströme aus geschmolzenem Schnee und vulkanischer Asche als schmale blaugrüne Linien erkennbar. Die Vulkane auf Kamtschatka gehören zu den aktivsten der Welt.



Die Daten für dieses Radarbild wurden mitten in der Nacht aufgenommen. Es zeigt einen Abschnitt des Flusses Rio Negro, etwa 100 Kilometer westlich der Stadt Manaus im brasilianischen Regenwald.

## Mehr als eine Landkarte

Die Radar-Fernerkundung bietet zahlreiche interessante Nutzungsmöglichkeiten. Bei der eben beschriebenen Repeat-pass-Methode etwa wird dasselbe Gebiet zweimal zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen. Durch Kombination dieser Aufnahmen lassen sich Veränderungen sichtbar machen, wie sie etwa Witterungseinflüsse oder der Vegetationsstatus zu unterschiedlichen Jahreszeiten bewirken – wichtige Informationen für Klimaforschung und Umweltschutz. Solche so genannten multitemporalen Aufnahmen leisten auch für den Katastrophenschutz wertvolle Hilfe. Sie zeigen



*Auf diesem Bild des Rheins bei Dormagen lassen sich Hochwassergebiete (hellblau) deutlich vom normalen Flusslauf (dunkelblau) unterscheiden. Um sie sichtbar zu machen, wurden drei Radarbilder desselben Gebietes am Computer „übereinandergelegt“. Sie wurden am 31. Januar und 25. Dezember 1993 sowie am 3. Januar 1994 vom Radarsatelliten ERS-1 aufgenommen.*



Mit Hilfe von Radaraufnahmen kann man sogar bisher unbekannte geologische Strukturen sichtbar machen, wie diese Darstellung des Wadi Kufra in Libyen zeigt. Bei den dunklen Bändern links und rechts im Bild handelt es sich um längst ausgetrocknete Flussläufe der Altsteinzeit. Einst führten diese Stromtäler in der Regenzeit Wasser durch die Sahara, heute sind sie vom Sand der Wüste zugeweht – und für das bloße Auge nicht mehr sichtbar.

Doch Radarstrahlen verschiedener Wellenlängen dringen unterschiedlich tief in den Boden ein. Für dieses Bild wurden Aufnahmen von drei verschiedenen Frequenzbereichen miteinander kombiniert. Auf diese Weise konnte man unter den Sand schauen und die darunter verborgene Geländestruktur optisch freilegen. Die weißen Flecken am oberen Bildrand kennzeichnen bewirtschaftete Felder der Kufra-Oase.

Die Aufnahme entstand am 4. Oktober 1994.

etwa die Überflutung hochwassergefährdeter Gebiete zu bestimmten Jahreszeiten und können so bei der Planung des Deichbaus oder bei der Evakuierung periodisch gefährdeter Gebiete eine Rolle spielen.

### Die Lebensqualität verbessern

In etwa zwei Jahren werden die SRTM-Daten im Fernerkundungsdatenzentrum des DLR in Oberpfaffenhofen ausgewertet sein. Dabei „veredelt“ man die Rohdaten zu digitalen, dreidimensionalen Höhenmodellen, welche die Grundlage für zahlreiche wissenschaftliche Anwendungen bilden. Durch Kombination mit weiteren Daten aus den Geowissenschaften werden die hochpräzisen Reliefkarten zu so genannten **Geoinformationssystemen** (GIS) verarbeitet, die auch vielseitige kommerzielle Nutzungsmöglichkeiten eröffnen.

Dank exakter Informationen über die Kontur der Erde können Wissenschaftler vorhersagen, entlang welcher Wege das Wasser auf der Oberfläche unseres Planeten fließt. Durch „virtuelles Fluten“ der digitalen Landschaft am Computer lassen sich die Auswirkungen lang andauernder Regenfälle simulieren und Überschwemmungen bzw. deren Auswirkungen auf die Umwelt vorhersagen. Mit Computermodellen von Flüssen und ihren Stromgebieten können auch Voraussagen über die Verfügbarkeit von Wasser getroffen werden – eine Möglichkeit, die Lebenssituation in den wasserarmen Regionen dieser Welt zu verbessern.

Die Kombination von genauen Höhendaten mit Informationen über den Bewuchs und vom Men-

schen erschaffene Oberflächenstrukturen wie Straßen und Gebäude hilft Konstruktionsfirmen, beispielsweise Stromleitungen, Öl-Pipelines, aber auch Eisenbahnlinien oder Brücken am Computer zu planen. Die digitale Karte ersetzt bzw. unterstützt damit den Landvermesser vor Ort.

Mobilfunkunternehmen können mit Hilfe eines Geländemodells die Ausbreitung der Funkwellen simulieren und die optimale Position ihrer Antennenmasten bestimmen. Schon in der Planungsphase lassen sich „Funklöcher“ aufdecken und durch eine günstige Positionierung der Masten beseitigen. Störungen entstehen etwa durch Reflexionen der Radiowellen an Bauwerken oder Bergen. Sie verhindern den Empfang der Signale, die sich geradlinig ausbreiten.

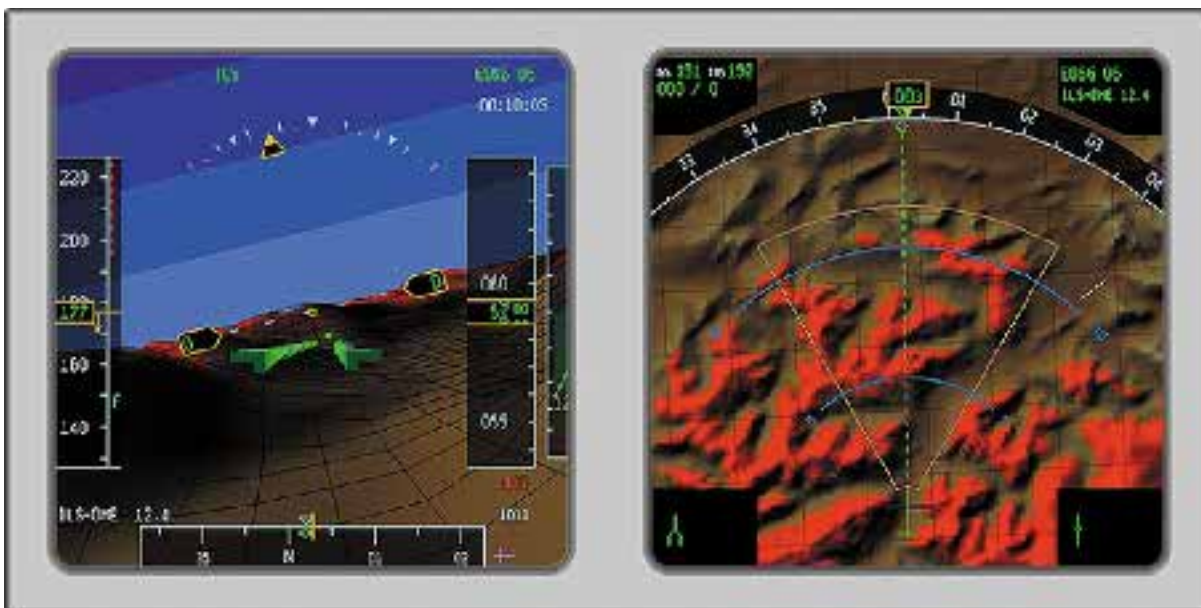
### Mehr Sicherheit im Flugverkehr

Schon heute warnen Navigationssysteme den Piloten, wenn sein Flugzeug sich unbeabsichtigt dem Erdboden oder einem Hindernis nähert. Je präziser die Geländemodelle, die diesen Systemen zu Grunde liegen, desto früher und zuverlässiger ist eine Warnung möglich. Wissenschaftler des DLR arbeiten zur Zeit an Systemen, die im Cockpit eine künstliche Außensicht schaffen. Damit sehen die Piloten auf ihren Bildschirmen auch bei Nacht oder in dichter Bewölkung jedes Detail der überflogenen Landschaft, die zuvor auf Basis von digitalen Höhenmodellen im Bordcomputer gespeichert wird. Erst mit den genauen Messungen von SRTM werden die Höhendaten so zuverlässig, dass eine solche Technologie in einer zukünftigen Flugzeuggeneration Wirklichkeit werden kann.



Wie Bienenwaben sind die Mobilfunknetze aufgebaut. Simulationen wie diese helfen bei der Positionierung der Sendemasten. In Zukunft werden die dafür nötigen Höhendaten in bisher unerreichter Präzision vorliegen.

Naturgetreue Computerdarstellungen der Außenwelt im Cockpit entlasten die Piloten bei der Orientierung und erhöhen die Flugsicherheit. Dieses an der TU Darmstadt entwickelte Flugdisplay bildet die Landschaft mit Hilfe von Radar- und anderen Daten aus dem All nach und ergänzt sie mit weiteren Informationen (links). Ein weiteres Display (rechts) ermöglicht einen schnellen Überblick über Gefahrenzonen und mögliche Ausweichrouten.



## Glossar

**Boreal**

nördlich; dem nördlichen Klima Europas, Asiens und Amerikas zugehörend

**digitalisieren**

Daten und Informationen in Ziffern umsetzen

**Geodät**

Landvermesser

**Geoinformationssystem**

Je nach Einsatzgebiet mit Daten aus Politik, Wirtschaft, Soziologie oder Geowissenschaften kombinierte digitale Landkarte.

**homogen**

gleichmäßig aufgebaut, einheitlich

**Interferometrie**

Messverfahren, das sich der Überlagerung von Wellen oder Strahlen bedient

**Radar**

Abkürzung für RAdio Detection And Ranging, die Ortung und Entfernungsmessung mit Hilfe von Mikrowellen

## Internetadressen

<http://www.dlr.de>

Homepage des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V.

<http://www.dlr.de/srtm>

Homepage des SRTM-Projekts

[http://www.space-forum.de/srtm\\_fs.htm](http://www.space-forum.de/srtm_fs.htm)

die SRTM-Sites des DLR mit dem Bordtagebuch Gerhard Thieles

<http://www.nasa.gov>

Homepage der amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA

<http://www.jpl.nasa.gov/srtm>

die SRTM-Sites der NASA

<http://southport.jpl.nasa.gov/>

weitere Radar-Aufnahmen

<http://www.raumfahrt.de>

kompakte Informationen in deutscher Sprache über wichtige Missionen

<http://www.spacer.com>

täglich aktualisierte Nachrichten aus Raumfahrt und Astronomie



Die Schulinformation Raumfahrt wird herausgegeben von:

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
51170 Köln



Gefördert durch das  
Bundesministerium für  
Bildung und Forschung

Text und Gestaltung:  
Großbongardt Kommunikation  
GmbH, Hamburg

Bildnachweis:  
DLR, NASA

Druck:  
Richard Thierbach GmbH,  
Mülheim an der Ruhr