

Die Göttin der Liebe und Schönheit verbirgt ihr Antlitz hinter einem dichten Wolkenschleier. So müssen Forscher der Venus mit besonderen Instrumenten zu Leibe rücken – etwa mit der *Venus Monitoring Camera* (siehe Seite 28).

Foto: ESA/MPS/DLR/DA

Die Gluthölle hinter dem Schleier

Seit mehr als drei Jahren umkreist die erste europäische Venussonde unsere Nachbarin im Sonnensystem: *Venus Express* hat ein bizarres Inferno im Visier. **Dmitriy Titov** vom **Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung** in Katlenburg-Lindau koordiniert Missionsplanung und Datenauswertung.

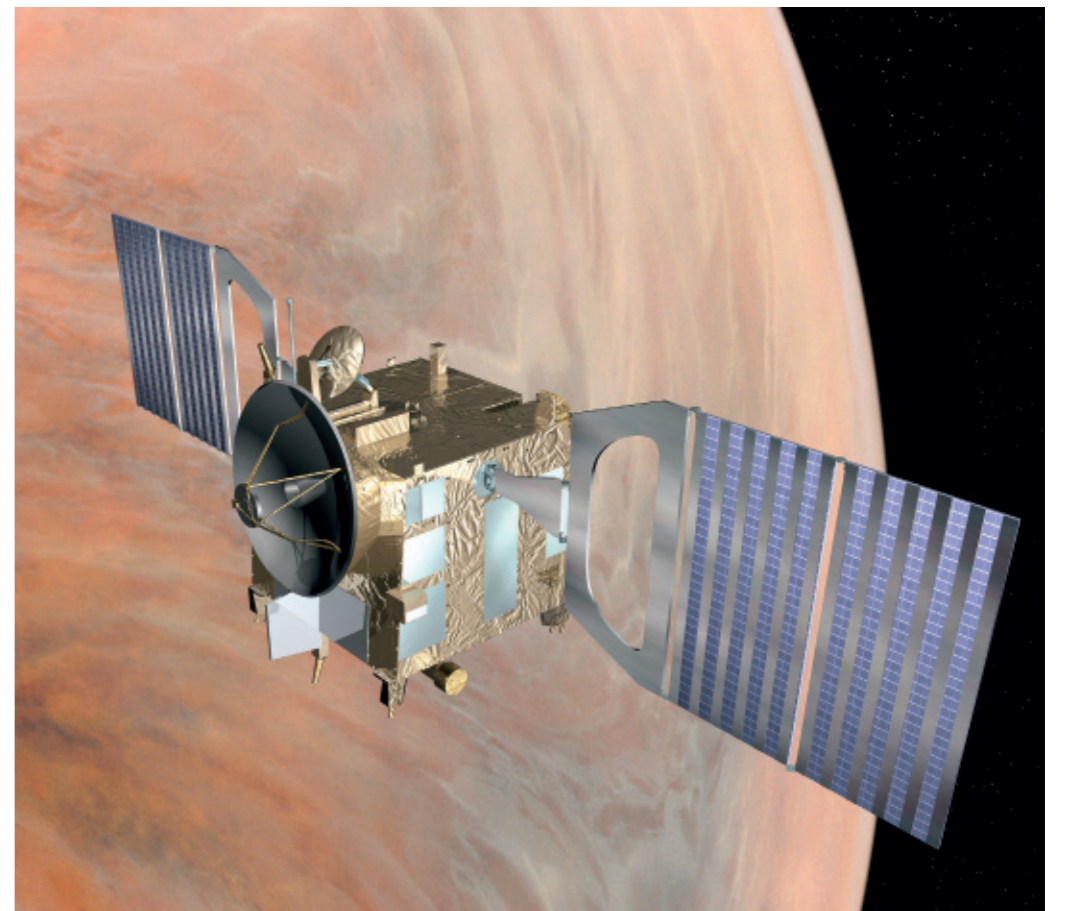
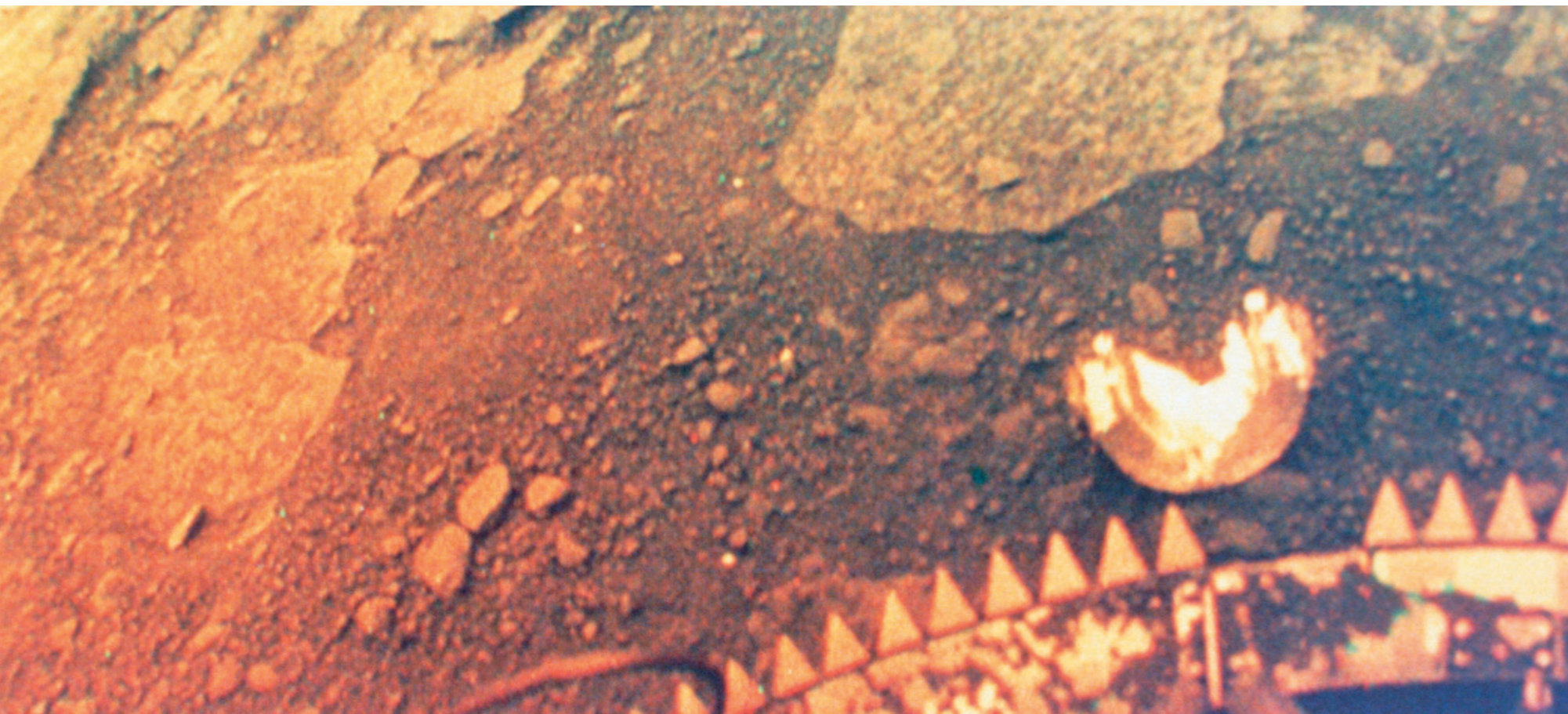
TEXT **THORSTEN DAMBECK**

Betrachtet man die nüchternen Zahlen, sollte die Venus eigentlich eine Art Zwilling der Erde sein. Ihr Durchmesser beträgt 12100 Kilometer, entsprechend 95 Prozent jenem unseres Planeten. Das Gleiche gilt für die mittlere Dichte (94 Prozent) und die Masse (82 Prozent). Gleichzeitig ist der 108 Millionen Kilometer von der Sonne entfernte Planet (Erde: 150 Millionen Kilometer) aber völlig anders: Am Venushimmel etwa hängen ätzende Wolken aus Schwefelsäure – ein fast undurchdringlicher Schleier, hinter dem

sich unsere Nachbarin vor allzu neugierigen Blicken der Wissenschaft verbirgt. Deshalb konnten Astronomen mit ihren Teleskopen lange Zeit nichts im konturlosen Gelb der Planetenscheibe ausmachen. Die dürre Faktenlage spornte die Fantasie der Forscher an: Gibt es dort Wüsten, ähnlich der Sahara, oder gar tropische Regenwälder? Bereits die ersten Raumsonden räumten mit solchen Spekulationen auf. Im Vorbeiflug gelangen *Mariner 2* schon 1962 zwei wichtige Befunde, die den vermeintlichen Planetenzwilling in einen scharfen Gegensatz zur Erde stellten:

Erstens fand *Mariner* fast kein Wasser in der Venusluft und zweitens meldete die US-Sonde mörderische Temperaturen auf der Oberfläche. Die These vom Venusdschungel war passé.

Im Jahr 1967 schickte *Venera 4* einen Wetterbericht direkt aus der heißen Gashölle. Die sowjetische Sonde bestätigte das Vorhandensein der an Kohlendioxid reichen Atmosphäre. Ab den 1970er-Jahren sandten mehrere Landegeräte der UdSSR sogar Panoramafotos vom Boden und präzisierten die Wetterdaten: Der Luftdruck am Boden liegt bei 92 Bar, auf der Erde muss man für



links | Temperaturen um die 460 Grad Celsius und ein Druck wie in 900 Meter Meerestiefe machen das Überleben selbst für Roboter schwierig. Daher sind Ansichten der Venusoberfläche selten. Das Bild links nahm die russische Raumsonde *Venera 13* auf.
rechts | An der Datenauswertung des europäischen Spähers *Venus Express* sind Max-Planck-Forscher maßgeblich beteiligt.

EIN MONITOR FÜR DIE VENUS



Die *Venus Monitoring Camera* (VMC) wurde unter Federführung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung zusammen mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Berlin und dem Institut für Datentechnik der TU Braunschweig gebaut. Das kompakte Gerät, das kaum 1,8 Kilogramm wiegt, hat ein Gesichtsfeld von 17,5 Grad; die Venus passt im entferntesten Punkt des elliptischen Orbits gerade komplett ins Bild. Die ve-

Schatzkästchen für Planetenforscher: Die *Venus Monitoring Camera* liefert Bilder der Erdnachbarin im ultravioletten bis nahen infraroten Bereich des Lichts.

nusnahen Abschnitte des Umlaufs sind für Detailstudien bestimmt. Je nach Distanz variiert die Auflösung zwischen 200 Metern und 50 Kilometern.

Um das Design einfach und unanfällig für technische Störungen zu halten, wurde auf bewegliche Teile, etwa Filterräder, weitgehend verzichtet. Vier verschiedene Wellenlängen, vom UV über das sichtbare Licht bis zum Infraroten, werden simultan auf demselben Sensor abgebildet. Jede Wellenlänge nutzt dabei eine Teilfläche des lichtempfindlichen Chips. Noch vor der Übertragung der Fotos an den Bordrechner werden die Bilddaten in der Kamera ersten Bildverarbeitungsschritten unterzogen.

Foto: MPI für Sonnensystemforschung (links), SPL - Agentur Focus (oben)

Computergrafik: ESA

solche Druckwerte mehr als 900 Meter tief ins Meer abtauchen. In der steinigen Venuswüste herrschen Temperaturen von durchschnittlich 457 Grad, Blei würde dort umgehend schmelzen. Und über den verhangenen Himmel rasen die Venuswolken im Formel-1-Tempo.

WIE KOMMT DIE ERDNACHBARIN ZU IHREM TREIBHAUS?

Obwohl bereits mehr als 30 Sonden die Venus erreichten, blieben viele Fragen unbeantwortet: Was treibt die stürmische Venusatmosphäre an? Warum rotiert die Atmosphäre 60-mal schneller als der Planet selbst? Verbergen sich unter den dichten Wolken noch aktive Vulkane? Auch die Haupt-

frage blieb offen: Warum nahm die Venus ihren seltsamen Entwicklungspfad zu dem Treibhaus von heute?

Seit April 2006 umkreist nun *Venus Express*, der erste Späher der Europäischen Weltraumbehörde ESA, die Erdnachbarin. An Bord arbeitet ein halbes Dutzend Messgeräte und Kameras daran, Antworten zu finden, sie weisen die Mission als wahrhaft europäisches Projekt aus. So ist das italienisch-französische *VIRTIS* ein abbildendes Spektrometer, das heißt, es fungiert auch als Kamera. Die tiefen Atmosphärenschichten und die Oberfläche lassen sich damit studieren. Den chemischen Aufbau der Gashülle analysiert das von französischen Forschern geleitete *Spica V/Soir*-Spektrome-

ter. Es stützt sich auf das Licht der Sonne und einzelner Sterne, das beim Durchgang durch die Venusatmosphäre analysiert wird.

93 KILO AN EXPERIMENTEN

Forscher aus Deutschland sondieren mit dem Radioexperiment VeRa Ionosphäre, Atmosphäre und die Oberfläche. Das schwedische *ASPERA*-Experiment dient dazu, die Wechselwirkungen zwischen Hochatmosphäre und dem Sonnenwind zu studieren. Auch zwei Neuentwicklungen gehören dazu: das österreichische Magnetometer *MAG* und die deutsche Weitwinkelkamera *VMC*, die unter Federführung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemfor-

schung entwickelt wurde (siehe Seite 28). Zusammen bringt die Nutzlast 93 Kilogramm auf die Waage.

Das Institut in Katlenburg-Lindau ist mit dieser Mission zu einem Zentrum der Erforschung unseres Schwesterplaneten avanciert. Täglich landen Bilder und Messdaten auf dem Schreibtisch von Dmitriy Titov. Der russische Physiker koordiniert die Missionsplanung und die wissenschaftliche Datenauswertung.

Einmal in 24 Stunden umkreist *Venus Express* den Planeten auf einer stark elliptischen Umlaufbahn, die Flughöhe schwankt dabei zwischen 250 und 66000 Kilometer. „Durch den speziellen Orbit haben die Instrumente und Kameras besonders die südliche Venushalbkugel im Blick“, sagt Titov. Bei der Beobachtung der Atmosphäre hilft der Umstand, dass das Antlitz des Planeten im Ultravioletten (UV), anders als im sichtbaren Licht, durchaus viele Details zeigt.

Das ist zwar längst bekannt, aber die Planetenforscher rätseln immer noch, welcher Stoff diese ungleichförmige Absorption der UV-Strahlen verursacht. „Die unbekannte Substanz befindet sich wahrscheinlich in den Tröpfchen der Wolken aus Schwefelsäure“, erklärt Dmitriy Titov. Jedenfalls sei das myste-

riöse Material auch eine große Hilfe, denn „damit können wir die dynamischen Vorgänge in der Venusatmosphäre im UV-Licht gut verfolgen“.

Wie ist die Gashülle der Venus großräumig aufgebaut? Welche Veränderungen spielen sich dort ab? Antworten gibt die *Venus Monitoring Camera* aus Katlenburg-Lindau. Ihre Fotos der Südhalbkugel zeigen drei sehr unterschiedliche Zonen im Wolkenmeer der Venus. Nahe des Äquators ist die Sonneneinstrahlung am höchsten, dort fördern turbulente Konvektionsströmungen den dunklen UV-Absorber aus tiefen Schichten der Atmosphäre nach oben. Die Bilder dieser Breiten sind folglich geprägt von UV-dunklen Markierungen.

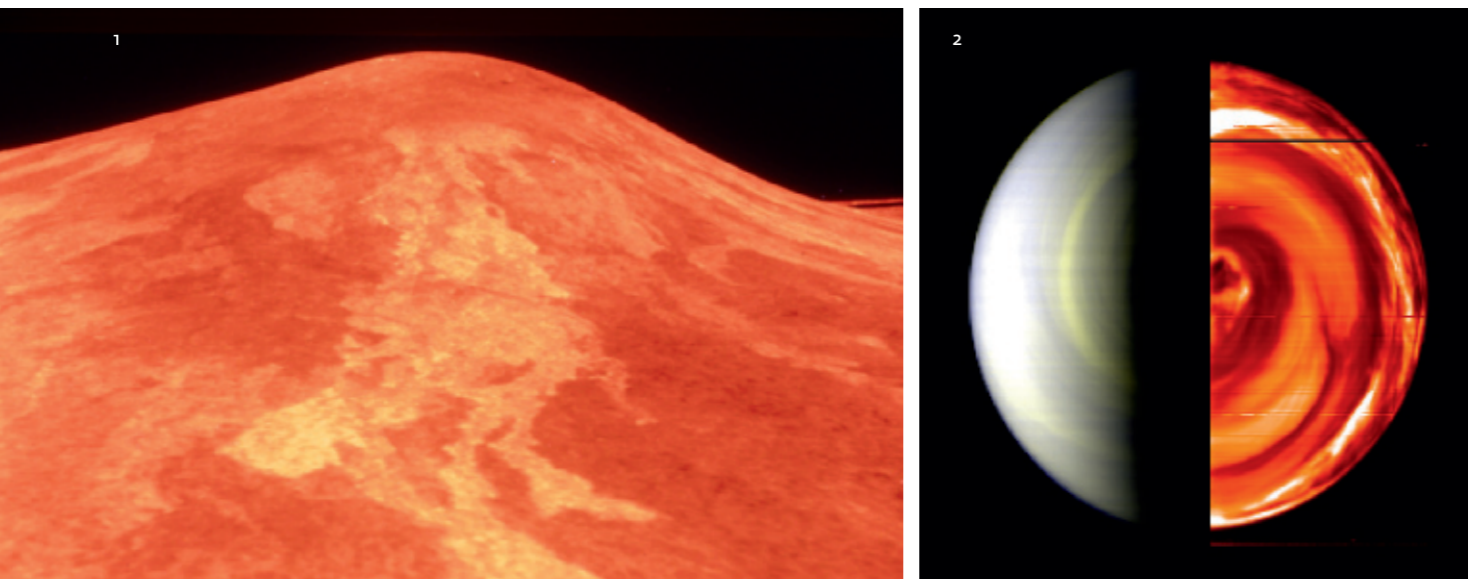
AEROSOLE REFLEKTIEREN EINEN GROSSTEIL DER STRAHLUNG

Anders weiter im Süden, jenseits von 40 Grad südlicher Breite: Dort sehen die UV-Augen von *Venus Express* lang gestreckte, streifige Wolkenformationen, die auf eine geordnetere, mehr laminaire atmosphärische Strömung schließen lassen. Diese geht in einen planetenumfassenden Kranz aus hellen, fast strukturlosen Wolken zwischen 50 und 70 Grad südlicher Breite über. Hier reflektieren vermutlich Aerosole einen

Großteil des Sonnenlichts, bevor es den UV-Absorber erreicht. Diese Zone kann man sich als Fluss aus vergleichsweise kühler Venusluft vorstellen, der das Polargebiet umströmt.

Die Polregion selbst bietet den Forschern seit dem Missionsbeginn ein eindrucksvolles Schauspiel: Dort tost ein gewaltiger Wolkenwirbel, der in zweieinhalb Tagen um den Südpol rotiert und den bereits die Vorgänger von *Venus Express* entdeckten. Nie zuvor konnte er in der jetzigen Detailfülle studiert werden. Manchmal ähnelt er einem irdischen Hurrikan. Bisweilen scheint er jedoch zwei Zentren aufzuweisen, Venusforscher nennen sein Auge *polar dipol*. „Innerhalb kurzer Zeit ändert das Auge des Wirbelsturms so stark sein Aussehen, dass mitunter ein Dipol nicht mehr erkennbar ist“, sagt Max-Planck-Forscher Titov.

Die großräumige Struktur der Gashülle auf der Südhemisphäre ist typisch für den gesamten Planeten, denn auch im Norden ist die Atmosphäre ähnlich aufgebaut. Wegen der speziellen Umlaufbahn der Sonde eignet sich die Nordhalbkugel für Detailstudien. So konnte die Katlenburger Kamera dort etwa *wave trains*, wellenartige Wolkenstrukturen, ablichten, die es in ähnlicher Form auch auf der Erde



Fotos: Magellan Project/JPL/NASA (links), ESA/MPS

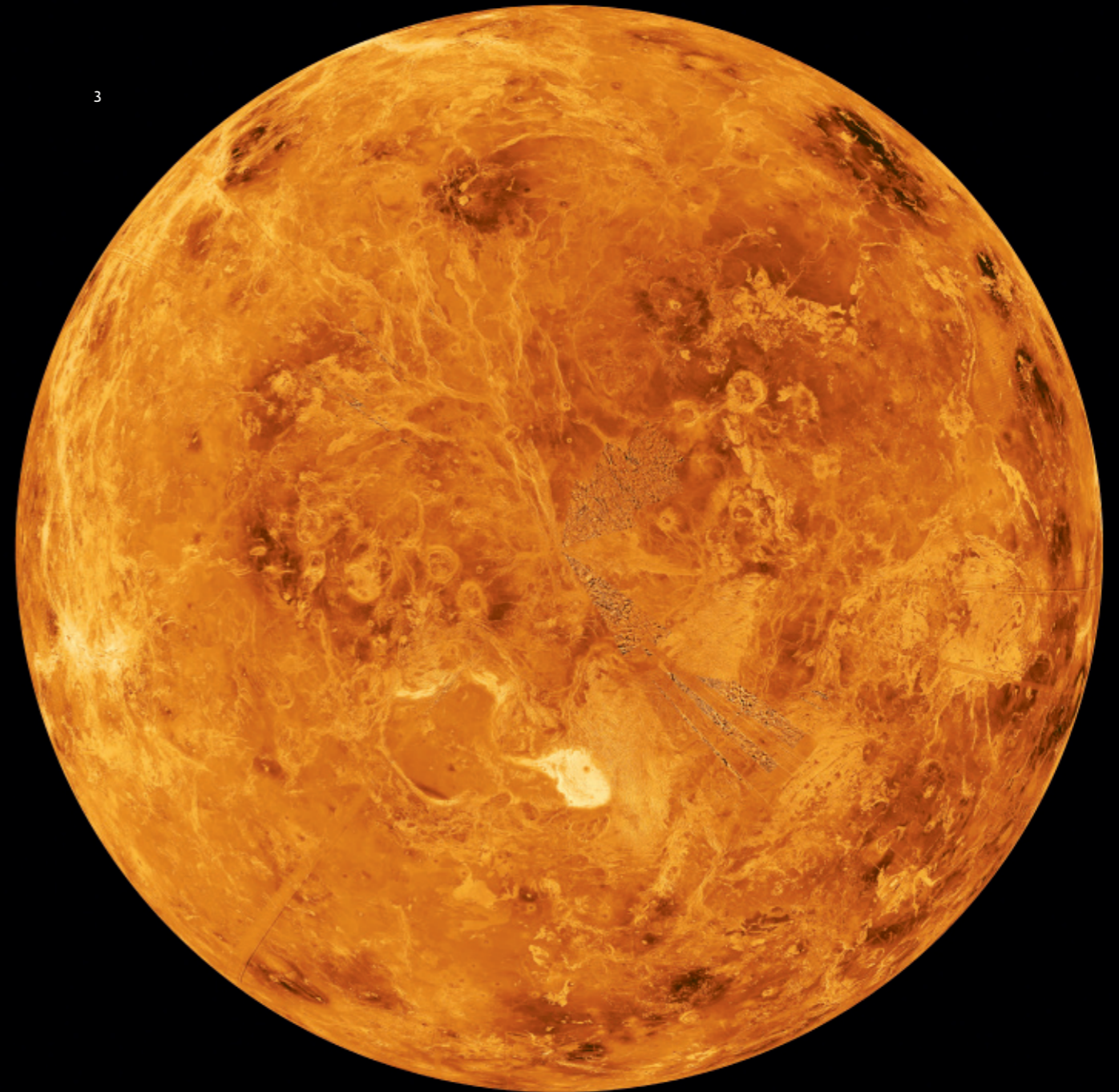
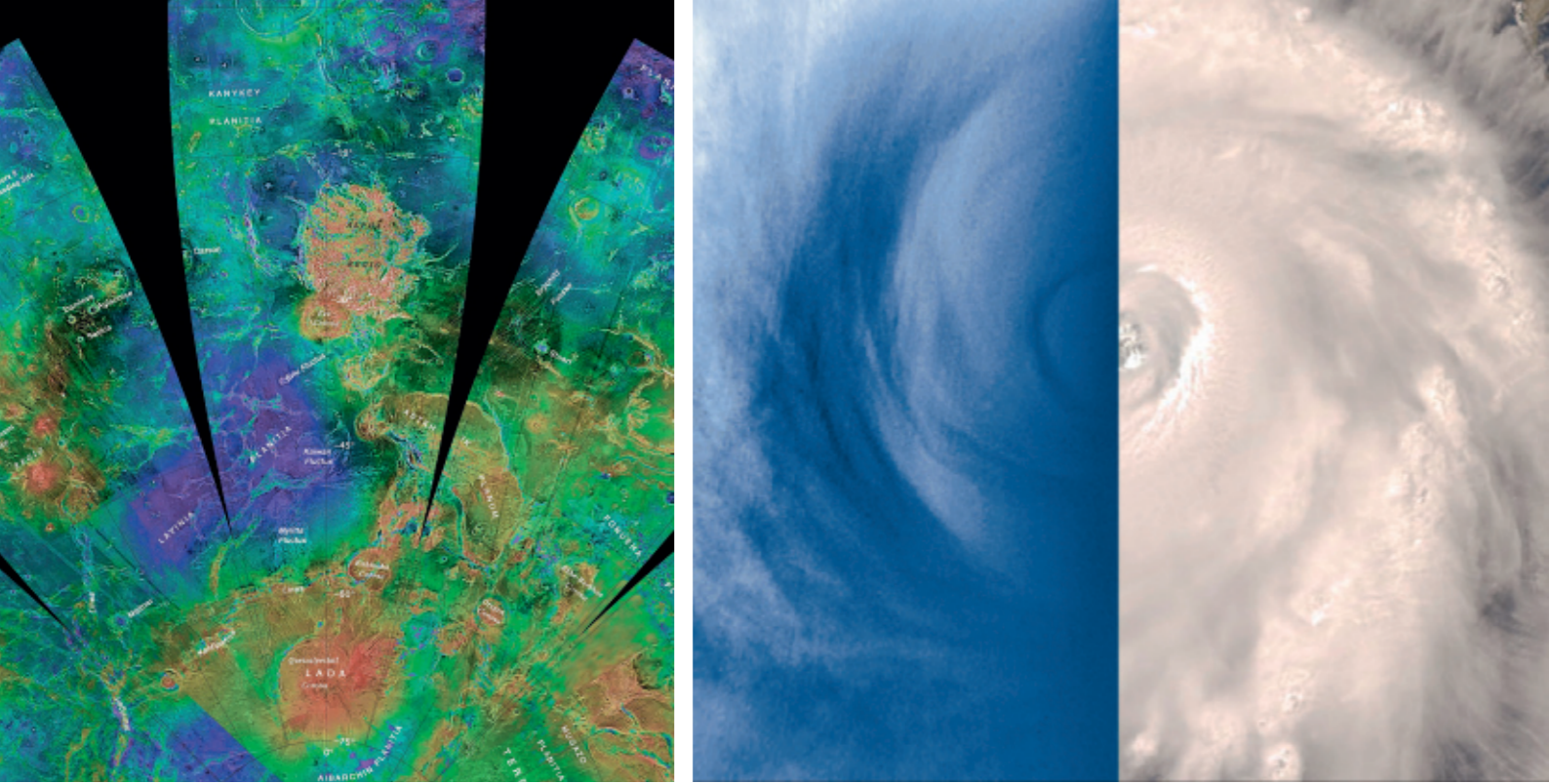


Foto: Magellan Project/JPL/NASA

- 1 Die Venuslandschaft wurde von Vulkanen geformt, wie dem rund 2000 Meter hohen Sif Mons. Die geologische Geschichte beschäftigt heute die Planetologen.
- 2 Zwei Ansichten des wolkenverhangenen Venus-Südpols. Das linke Teilbild zeigt die Gashülle bei Tag im reflektierten Sonnenlicht, das rechte Teilbild nachts bei thermischer Strahlung. Auf beiden Ansichten sieht man Spuren eines mächtigen Wirbelsturms.
- 3 Die Venus ohne Schleier: Solche Ansichten der nackten Planetenkugel gelingen nur mit Radarinstrumenten.



links Ein Teil der Südhemisphäre. Die Farbgebung beruht auf Höhenmessungen: Blaue Flächen zeigen tief liegende Regionen der Venus an, grüne die mittleren Lagen, und in ockerfarbenen und braunen bis orangefarbenen Tönen sind die am höchsten gelegenen Gebiete dargestellt.
rechts Schwestern in Aufruhr: Das linke Bild zeigt einen Wirbelsturm auf der Venus, das rechte zum Vergleich den irdischen Hurrikan Frances.

gibt. Stück für Stück muss nun auch der rätselhafte UV-Absorber sein Geheimnis preisgeben.

„Durch Vergleich zwischen den UV- und Infrarotfotos solcher Wolken konnten wir mit unserer Kamera mehrfach bestätigen, dass der unbekannte UV-Absorber auch leicht im nahen Infrarotlicht absorbiert“, erklärt Wojciech Markiewicz, der am Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung das Kamera-Experiment leitet. Sein Kollege Titov dazu: „Zwar werden viele Stoffe als Ursache für die UV-Absorption diskutiert, womöglich ist es jedoch einfach eine besondere Modifikation des Schwefels.“

Obwohl der etwa 25 Kilometer dicke Wolkenteppich in den sichtbaren Wellenlängen des Spektrums den Blick zur Oberfläche verstellt, kann die Kamera sogar Details am Boden ausmachen. Und das geht so: Selbst auf der Nachtseite ist die Venusoberfläche noch über 400 Grad heiß, das bedeutet, die Oberflächengesteine geben Wärmestraahlen im unsichtbaren Infrarot ab. Ein Teil dieser Strahlung kann die Wolkendecke durchdringen. „Die Auflö-

sung der Bilder ist zwar durch die dicke Gashülle stark eingeschränkt“, erklärt Markiewicz. „Dennoch erfahren wir sehr viel über die Oberfläche.“

Globale Vulkanausbrüche geben Rätsel auf

Solche Mosaikfotos, die mehr als 1000 Einzelbilder umfassen können, zeigen die Temperaturvariationen in den Venuslandschaften: Wie auf der Erde sind die Niederungen wärmer als die Berge, die bis zu zwölf Kilometer emporragen. Auf einem Fünf-Kilometer-Gipfel liegen die Temperaturen beispielsweise 40 Grad unter denen der Ebene. Mit solchen Studien wollen die Planetologen auch mehr über die Mineralien der Venuskruste erfahren. Nach den gängigen Theorien entstand die Oberfläche durch planetenweite Vulkaneruptionen. Diese rätselhafte globale Katastrophe suchte die Venus vor etwa 500 bis 600 Millionen Jahren heim.

Vulkanismus in großem Stil enthüllte bereits in den 1990er-Jahren die Sonde *Magellan*, die rund 98 Prozent der Venusoberfläche kartierte. Auf ihren

Radarbildern zählten die Forscher rund 1000 Vulkane. Sollten noch heute Venusvulkane Feuer spucken, so könnten die VMC-Kamera und das *Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer* (VIRTIS) ihnen auf die Schliche kommen. Die Suche danach geht weiter.

Zurück zum Himmel über der Venus, dem eigentlichen Forschungsobjekt der Mission. Bilder einzelner Wolkenformationen, abgelichtet von VMC und VIRTIS, nutzen die Planetologen, um die Windverhältnisse in der stürmischen Atmosphäre zu messen. Dabei lassen sich in den verschiedenen Wellenlängen Bewegungen aufspüren, die in unterschiedlichen Höhen des mehrschichtigen Wolkensystems stattfinden. Erstmals gelangen so umfassende 3D-Studien der Venusstürme: In 66 Kilometer Höhe rasen die Wolken bis zu 370 Kilometer pro Stunde, immerhin das Dreifache irdischer Hurrikans; tiefer unten, 45 bis 47 Kilometer über dem Boden, werden immer noch 210 Stundenkilometer gemessen.

Mit solchen Studien wollen die Forscher klären, was die „Superrotation“ der Venusatmosphäre antreibt. Diese

rasante Bewegung lässt die höhere Gashülle in nur vier Erdtagen den gesamten Planeten umrunden. Sie vollzieht sich in derselben Richtung wie die Eigenrotation der Venus. Ein Venustag dauert wiederum ungewöhnlich lange: Für die Drehung um die eigene Achse benötigt die ungleiche Planetenschwester 243 Erdtage – fast 19 Erdtage mehr als für den vollständigen Sonnenlauf. Der Venustag dauert also länger als das Venusjahr.

Die Eigendrehung im Schnecken-tempo ist wahrscheinlich eine Ursache für einen weiteren wichtigen Unterschied zur Erde: Venus hat kein globales Magnetfeld. Wahrscheinlich beeinflusste dieser Umstand auch ihre Klimageschichte, insbesondere das Schicksal des Wassers, das die junge Venus gemeinsam mit Erde und Mars als Mitgift der Planetenbildung erhielt. Übrigens gibt es auf der Venus auch keine Plattentektonik.

Anders als diese beiden terrestrischen Planeten ist die Venus mittlerweile jedoch extrem trocken. Zwar findet sich Wasser als Spurengas in der Venusluft, es macht aber lediglich 30 ppm (*parts per million*) aus. Würde sich alles heutige Wasser der Venus am Boden sammeln und über die Oberfläche verteilen, wäre dieser Ozean nur drei Zentimeter tief, der Vergleichswert für die Erde beträgt fast drei Kilometer.

Einen Hinweis auf eine feuchtere Venusjugend lieferte bereits die amerikanische Sonde *Pioneer-Venus*, die vor drei Jahrzehnten ihr Ziel erreichte. Ihr Massenspektrometer untersuchte die Isotope des Wasserstoffs in den Tröpfchen der säurehaltigen Venuswolken. Neben dem gewöhnlichen Wasserstoff (chemisches Symbol: H) maß *Pioneer* auch die Konzentration von Deuterium (D), dem sogenannten Schweren Wasserstoff. Deuterium macht im Wasser der irdischen Weltmeere nur 0,015 Prozent des dort gebundenen Wasserstoffs aus.

Die Messungen von *Pioneer-Venus* ergaben jedoch, dass das Verhältnis D zu H auf der Venus rund 120-mal stär-

ker zum Deuterium verschoben ist. Die Erklärung: Seit ihrer Entstehung hat die Venus überproportional die leichten H-Atome ins Weltall verloren. Das schwerere Deuterium blieb bevorzugt im Schwerfeld gefangen – eine allmähliche Anreicherung zugunsten dieses Isotops. Der D-Überschuss, den *Venus Express* bestätigte, deutet also auf höhere Wassermengen der jungen Venus hin.

Ultraviolettes Licht wütet in der Hochatmosphäre

Bis heute dauert der Verlust atmosphärischer Gase an. Mit dem ASPERA-Instrument (*Analyzer of Space Plasma and Energetic Atoms*) konnte *Venus Express* den Verlust von Wasserstoff und Sauerstoff nachweisen, wobei auf jedes O-Atom etwa zwei H-Atome kommen – dieselben Mengenverhältnisse wie im Wassermolekül. Markus Fränz, der im Katlenburger Institut die ASPERA-Daten auswertet, glaubt nicht an einen Zufall: „Physikalische Modelle erklären, dass H₂O in der Hochatmosphäre vom ultravioletten Sonnenlicht aufgebrochen und ionisiert wird. Die H- und O-Ionen können in den Welt- raum entweichen. Dieser Verlust passiert hauptsächlich auf der Nachtseite des Planeten.“

Mittlerweile wurden auch abgehende H-Ionen von der Tagseite gemessen. Welche Prozesse in der Vergangenheit und heute die Atome aus den Gashüllen der Planeten treiben, müssen die Forscher noch ermitteln. Hauptverdächtiger ist der Sonnenwind, ein geladener Partikelstrom, der von der Sonne ausgeht und Atome und Ionen so stark beschleunigen kann, dass sie das Schwerfeld verlassen. Fränz: „Momentan ist die Sonnenaktivität in ihrem Minimum, das gilt auch für den Sonnenwind. Beides ändert sich aber in einem elfjährigen Rhythmus. In den kommenden Jahren wollen wir die Erosion der Atmosphäre bei zunehmender Sonnenaktivität studieren.“

Für gesicherte Antworten auf die großen Fragen der Venusforschung ist es noch zu früh. Trotzdem wagt Dmitriy Titov einen Zwischenbescheid: Die Venus sei gar nicht so mysteriös, wie es noch in den frühen Jahren der Planetenerkundung erschien. „Sie startete einst ähnlich wie die Erde. Jedoch wurde ihr Kohlenstoff-Inventar nicht wie bei uns durch die Wirkung der Ozonane in Karbonatgestein gebunden. Der Kohlenstoff blieb als CO₂ in der Atmosphäre. Dort kam ein sich selbst verstärkender Treibhauseffekt in Gang.“

In der anschwellenden Hitze verdampfte alles Wasser und ging ins Weltall verloren. Ähnliche Prozesse sind auch von der Erde bekannt, auf der Venus haben sie sich allerdings bis auf ein bizarres Niveau verstärkt. Dieses Bild durch Langzeitmessungen zu erhärten, wird die Aufgabe der kommenden Jahre sein – viel Arbeit für *Venus Express* und ihre bereits geplanten Nachfolgesonden. ◀

Glossar

Isotop
Atome, deren Kerne gleiche Protonenzahl (und damit identische Kernladungszahl) besitzen, jedoch eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen.

Plattentektonik
Sichtbarer Ausdruck der Plattentektonik auf der Erde sind Bewegungen der Lithosphärenplatten, gemeinhin als Kontinentalverschiebung bezeichnet. Die Plattentektonik bewirkt etwa die Entstehung von Faltengebirgen sowie Phänomene wie Vulkanismus oder Erdbeben.

Treibhauseffekt
Energiereiche UV-Strahlung der Sonne durchdringt eine Planetenatmosphäre, während langwellige Wärmestrahlung gleichsam gefangen bleibt. Bei der Erde verhindert vor allem das Kohlendioxid in der Atmosphäre das Entweichen der Wärme in den Weltraum. Beim Planeten Venus ist der Treibhauseffekt noch wesentlich stärker.

Fotos: NASA/JPL/DLR (links), Sanyal Limaye (rechts)