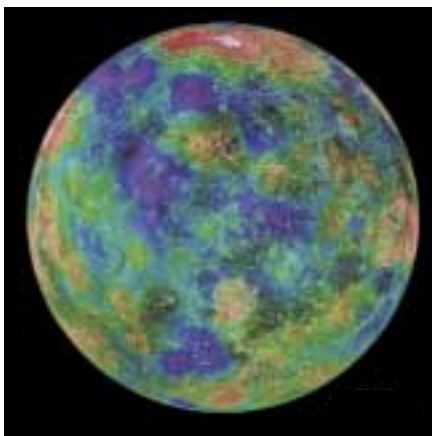
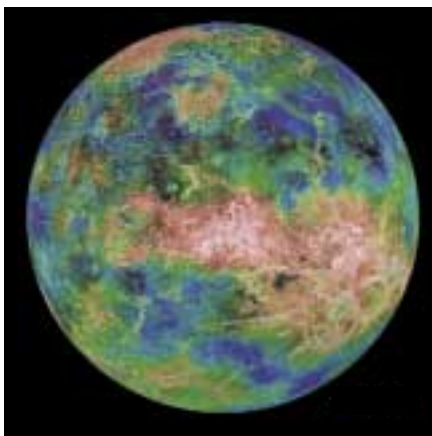


# DIE ENTHÜLLUNG DER VENUS

*Erst mit dem Radar der Magellan-Sonde war es möglich, die Oberfläche der Venus abzubilden. Die beiden in Falschfarben dargestellten Hemisphären zeigen die keineswegs monotone Topographie des Planeten mit den Tiefländern in blau und grün und den Gebirgszügen in beige Tönen (Bilder: NASA/JPL/USGS).*



Sie ist uns so nah – und doch wissen wir viel zu wenig von ihr. Die Venus, der Schwesterplanet der Erde, verbirgt noch so manches wissenschaftliche Geheimnis in und unter ihrer dichten Atmosphäre. Kein Wunder also, dass auch unser unmittelbarer planetarer Nachbar nach über einem Jahrzehnt wieder zum Ziel einer unbemannten Raumfahrtmission auserkoren wurde. Ende Oktober soll vom kasachischen Weltraumbahnhof Baikonur der 1.270 Kilogramm schwere Venus Express zu seiner fünfmonatigen Reise zur Venus abheben. Ab April 2006 soll die ESA-Sonde den zweitgrößten Planeten des inneren Sonnensystems für zunächst 500 Tage aus dem Orbit erkunden.

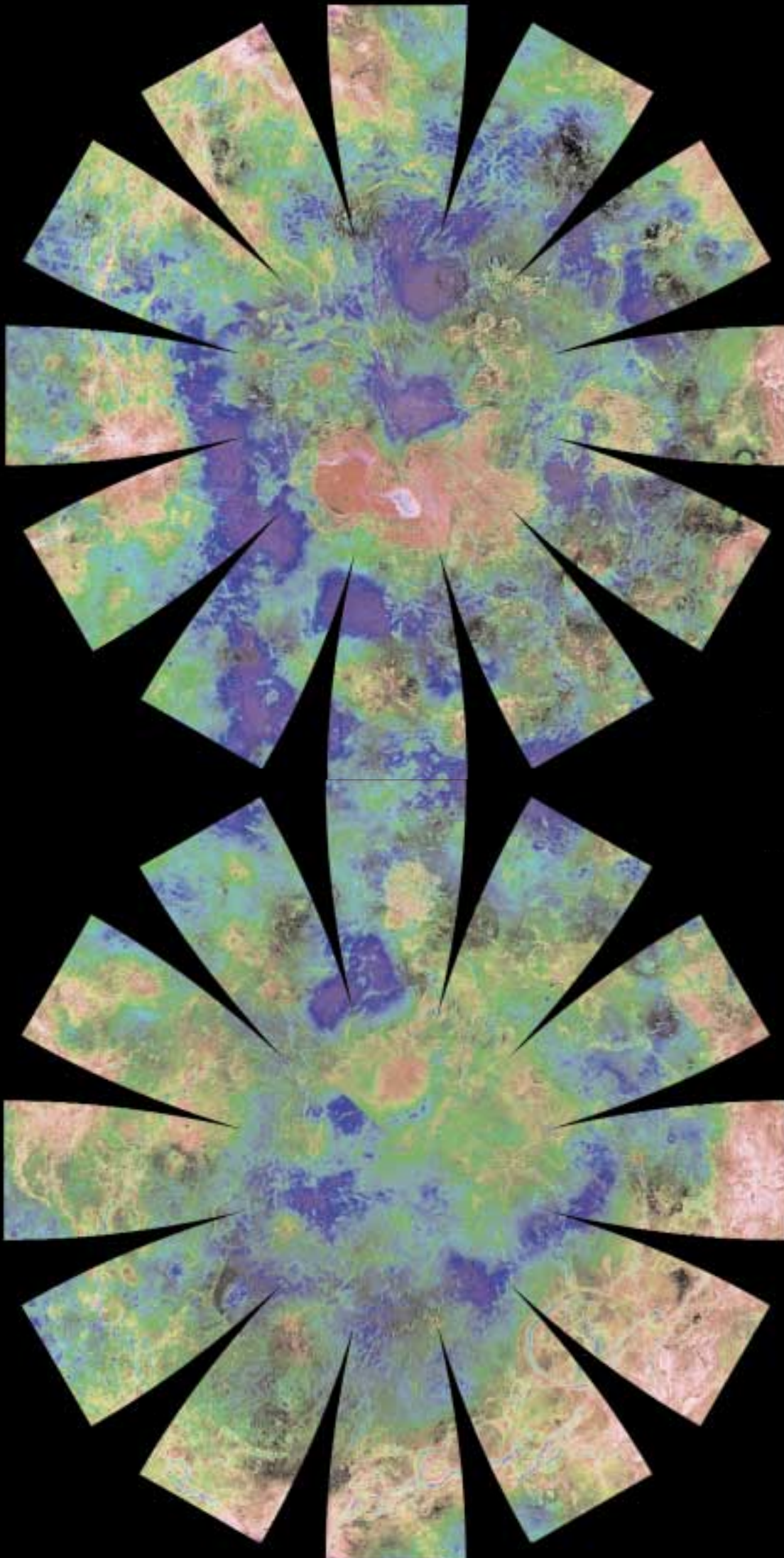
Die Europäische Weltraumorganisation ESA gab nach dem erfolgreichen Mars Express, der sich seit Weihnachten 2003 in einer Umlaufbahn um den „Roten Planeten“ befindet, ihrer jüngsten Mission nicht zufällig den fast gleichlautenden Namen Venus Express; wie auch beim „MEX“ wurde das Projekt von der ESA extrem schnell zur Startreife gebracht. Seit der Entscheidung der ESA, Venus Express im Rahmen ihres Programms der „kosmischen Visionen für das neue Jahrtausend“ zu entwickeln, vergingen gerade mal vier Jahre bis zum Einbau aller Komponenten in die Raumsonde.

Dabei wollte die ESA bei ihrer zweiten Mission zu einem anderen Planeten des Sonnensystems gleich drei große Herausforderung meistern: Unter extremen Weltraumbedingungen sollen äußerst anspruchsvolle wissenschaftliche Ziele verfolgt werden, die Mission jedoch sehr kostengünstig gestaltet und dabei

das Raumschiff mit seinen Experimenten so rasch wie möglich fertiggestellt werden. Nahezu baugleich zu Mars Express, wird „VEX“ von einem Sojus-Trägersystem zunächst in eine zweihundert Kilometer hohe Erdumlaufbahn gebracht. Von dort wird sie durch eine Fregat-Oberstufe auf ihre Transferbahn zur Venus geschossen.

## Warum so anders als die Erde?

Mit Venus Express soll zum ersten Mal die Gashölle des Planeten global und intensiv untersucht werden. Tatsächlich war der innere Nachbar der Erde der erste Planet, der Besuch von ihr erhielt. Seit dem Vorbeiflug von Mariner 2 im Jahre 1962 trugen 22 unbemannte Raumsonden zu unserem heutigen Kenntnisstand um die Venus bei. Mit einem Durchmesser von über 12.000 Kilometern ist die Venus fast so groß wie die Erde. Auf ihrem siebenmonatigen Weg um die Sonne nähert sie sich unserem Planeten bis auf weniger als



*Rund zehn Prozent der Venusoberfläche bestehen aus Hochlagen, doppelt so viel Fläche nehmen die Niederungen ein – und zwei Drittel der Landschaft weicht kaum mehr als einen Kilometer von „Normalnull“ ab. Topographische Darstellung der nördlichen (oben) und südlichen Hemisphäre mit den Polen jeweils im Zentrum von Magellan-Radardaten (Bild: NASA/JPL/USGS).*



40 Millionen Kilometer – und doch scheinen die Unterschiede zwischen den beiden Planeten größer zu sein als die zwischen der Erde und dem Mars, der doppelt so weit entfernt ist und auch nur halb so groß wie der „blaue Planet“.

Die ähnliche Größe und die annähernd gleiche Entfernung von Venus und Erde zur Sonne lassen zunächst vermuten, dass die Bestandteile, aus denen sich die beiden Planeten vor etwas mehr als viereinhalb Milliarden Jahren gebildet haben, dieselben waren. Einen entscheidenden Unterschied gab es dennoch: Die auf der Venus herrschenden Temperaturen waren von vornherein höher als auf der Erde, weshalb vor allem der leichte Wasserstoff durch die Hitze dem Planeten rascher „ausgetrieben“ wurde und ins Weltall entwich. Die Oberfläche der Venus, das wissen wir von den sowjetischen Venera-Landemodulen, ist knochentrocken – und heiß! Bei höchst ungemütlichen 460 Grad Celsius findet sich keine Spur von Wasser. Dies ist auch der Grund, warum beide Planeten so unterschiedliche Entwicklungen eingeschlagen haben.

### Eine globale Katastrophe?

Die Landschaften auf der Venus sind allesamt geologisch betrachtet sehr jung. Viele Anzeichen deuten darauf hin, dass ein global wirksamer Prozess – sehr wahrscheinlich Vulkanismus – vor etwa 600 Millionen Jahren das Antlitz des Planeten komplett neu geprägt hatte. Die Ursachen hierfür sind noch kaum verstanden. Ein Grund für die globale Katastrophe mag jedoch in dem Umstand verborgen liegen, dass die Kruste der Venus im Gegensatz zur Erde mit ihren beweglichen Kontinentplatten, die wie Flöße auf dem heißen Erdmantel treiben, aus einer den ganzen Planeten bedeckenden starren Gesteinsplatte besteht.

Wo jedoch auf der Erde ein weltumspannendes, viele zehntausend Kilometer langes Netz von mittelozeanischen Vulkanrücken existiert, die gewissermaßen als geothermale Ventile dienen und wie „Thermostaten“ für eine Abführung der im Erdmantel erzeugten Hitze sorgen, könnte sich im Mantel der Venus über hunderte von Millionen Jahren ein enormer Hitzestau aufgebaut haben, der sich dann vor einer halben Milliarde Jahre in globalen Vulkanausbrüchen entlud. Die amerikanische Sonde Magellan, die mit ihrem wolkendurchdringenden Radar eine

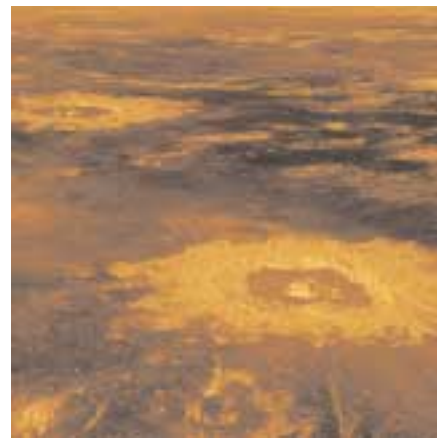
erste sehr genaue Kartierung der Venusoberfläche durchführte, entdeckte weit über hundert Vulkane.

### Das heißeste Treibhaus im Sonnensystem

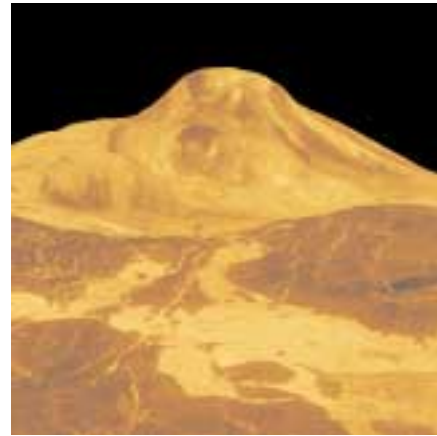
Wir wissen vor allem deshalb nicht genügend über die Venus, weil eine dichte Gashölle unseren Schwesterplaneten komplett einhüllt. Mit Teleskopen und gewöhnlichen Kameras an Bord von Raumsonden besteht keine Möglichkeit, durch die Wolken auf den Boden zu blicken. Der Luftdruck auf der Venus ist hundertmal so hoch wie auf der Erde – und auch die Zusammensetzung und Dynamik der Atmosphäre sind alles andere als lebensfreundlich: Zwar herrscht am Boden fast Windstille, doch in großer Höhe jagen Wolken aus Schwefelsäure um den Planeten. Eine Mischung aus gasförmigen Schwefelmolekülen mit winzigen Spuren von Wasserdampf liefert den Wolken ihren Nachschub.

Wichtigster Bestandteil der Venusatmosphäre ist jedoch das Treibhausgas Kohlendioxid. In Kombination mit der intensiven Sonnenenergie entwickelte sich die Venus zu dem heißen „Backofen“, der sie heute ist. Sie ist deshalb mit Sicherheit so lebensfeindlich, dass – ganz im Gegensatz zum Mars – nicht damit gerechnet werden kann, auf der Venusoberfläche auf fossile oder gar lebende Mikroorganismen zu stoßen.

Auch die Erde hatte während der ersten Milliarde Jahre eine ähnlich CO<sub>2</sub>-lastige Atmosphäre. Doch durch die Entwicklung von Leben in zunächst primitiven, dann immer komplexeren Formen wurde das Kohlendioxid in den die Organismen stabilisierenden Kalziumkarbonat-Gerüsten und -hüllen eingebaut und so der Atmosphäre – zugunsten eines höheren Sauerstoffanteils – mehr und mehr entzogen; abgestorbene Lebewesen sanken auf den Grund der Ozeane und bildeten mächtige Sedimentschichten, die von den plattentektonischen „Förderbändern“ über den Erdmantel gezogen wurden. Dort, wo die schwere ozeanische Basaltkruste mit einem Kontinent kollidiert, taucht diese in den Erdmantel ab – doch die auf ihr lagernden leichteren Sedimentpakete aus Kalzium- und Magnesiumkarbonaten werden abgeschabt und zu Kalk- und Dolomitgebirgen aufgefaltet: Heute sind diese Gebirge, beispielsweise die Alpen oder der Himalaya, neben den Ozeanen selbst die größten „Karbonatspeicher“ der Erde. Eine Erforschung der Gashölle



Die wenigen Einschlagskrater auf der Venus legen Zeugnis davon ab, dass die gesamte Oberfläche nicht älter als 600 Millionen Jahre alt ist (oben, Krater Aurelia); globaler Vulkanismus könnte den Planeten umgestaltet haben. Der Vulkan Maat Mons (unten) ist sogar „Kandidat“ für einen aktiven Feuerberg (Bilder: NASA/JPL).



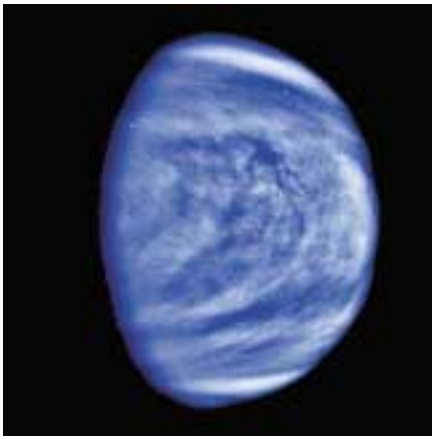
unseres Nachbarplaneten wird also auch Rückschlüsse auf die Prozesse zulassen, die in der irdischen Uratmosphäre vorstatten gingen.

### Sieben Instrumente auf der Spur der Venus-Geheimnisse

Obwohl die dichten Wolken einen direkten Blick auf die Venusoberfläche verhindern, wissen wir im Grunde mehr über die zum Teil sehr komplexen Landschaftsformen als über Dynamik und Zusammensetzung der Lufthölle, die wir unmittelbar betrachten können. Neben Fragen zur planetaren Umgebung der Venus und deren Wechselwirkung beispielsweise mit dem hier so intensiven Sonnenwind sind die wissenschaftlichen Ziele, die mit Venus Express verfolgt werden, vor allem an der Erforschung der Atmosphäre ausgerichtet. Daher soll Venus Express in globalem Maßstab die Atmosphäre unseres Nachbarplaneten hinsichtlich ihrer Struktur, ihrer Zusammensetzung und ihrer Dynamik untersuchen.

Die sich stellenden Fragen sind vielfältig: Welche chemische Zusammensetzung haben die einzelnen Schichten der Lufthölle im Detail? Welche physikalischen Eigenschaften haben die Luftschichten, wie zirkulieren sie? Wie spielt sich der Treibhauseffekt der

Schon Galilei erkannte, dass die Venus genau wie der Erdmond Phasen zeigt und von Wolken umhüllt ist, wie auf dem Bild der nach dem italienischen Astronomen benannten und 1990 zum Jupiter fliegenden NASA-Sonde Galileo zu sehen (oben). Mit Venus Express (unten) soll insbesondere die dichte Atmosphäre des Planeten erkundet werden (Bilder: NASA/JPL; ESA).



Venus genau ab, und wie entwickelte er sich im Laufe der Jahrmilliarden? War es im „Treibhaus“ auf der Venus immer schon so heiß, zwischenzeitlich gar noch heißer? Oder bewirkten helle Wolken zeitweilig einen gegenteiligen Effekt, indem Sonnenstrahlung ins Weltall stärker reflektiert wurde und es auf der Venus auch kühlere Phasen gab – nicht zuletzt, weil das nukleare Feuer der Sonne anfänglich noch nicht so heiß brannte wie heute? Welche Wechselwirkung geht diese einzigartig dichte Atmosphäre mit den Gesteinen auf der Venus ein?

Mit sieben Experimenten, von denen je drei mit Instrumenten durchgeführt werden, die für die ESA-Raumsonden Mars Express bzw. Rosetta (der europäischen Mission zum Kometen Churiumov-Gerasimenko) entwickelt wurden – und nur einer Neuentwicklung – sollen diese und noch mehr Fragen beantwortet werden. Freilich mussten zunächst der Orbiter selbst, aber vor allem die hochempfindlichen Geräte für die Venus Express-Mission an die hohen Temperaturen in Sonnennähe angepasst werden bzw. durch besondere Bauelemente im Raumschiff besser vor Hitze geschützt werden. Auch wird eine zu intensive Bestrahlung der Instrumente durch eine geschickte Wahl des Orbits verhindert und damit die Durchführbarkeit der

Experimente auch über den langen Missionszeitraum in der harschen Venusumgebung gewährleistet.

Die Venus Monitoring Camera (VMC) vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau – deren Sensor für das sichtbare Licht und das nahe Infrarot vom DLR-Institut für Planetenforschung stammt – ist dafür ausgelegt, die Dynamik der Venusatmosphäre in Bildern festzuhalten. Dabei verwendet das Kamerasystem mehrere schmalbandige Filter in genau definierten Wellenlängen, um so das Wettergeschehen in globalem Maßstab räumlich und zeitlich aufzuzeichnen; DLR-Wissenschaftler beteiligen sich an der Auswertung der Daten.

Für Untersuchungen von chemischer Zusammensetzung, Temperaturen, physikalischer Eigenschaften und der Dynamik der Atmosphäre kommen gleich drei Spektrometer zum Einsatz. Zunächst das italienische Fourier-Infrarot-Spektrometer PFS, das dreidimensionale Temperaturprofile erstellen und die Variationen der Kohlendioxid- und Wassergehalte ermitteln wird. Des Weiteren das schwedische Ultraviolet- und Infrarot-Spektrometer SPICAV, das unter anderem vertikale Profile der CO<sub>2</sub>- und Ozonkonzentrationen erstellen wird.

Schließlich ist mit VIRTIS (Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer) ein weiteres Spektrometer an Bord von Venus Express, das ebenfalls zu atmosphärischen Untersuchungen eingesetzt wird. Es ist aber auch in der Lage, durch so genannte „atmosphärische Fenster“ in bestimmten Wellenlängen auf die Oberfläche des Planeten zu blicken. Bestehend aus zwei Komponenten (VIRTIS-H, einem Infrarot-Punktspektrometer mit hoher spektraler Auflösung, und VIRTIS-M, einem flächenhaft abbildenden Spektrometer für Wellenlängen im UV und sichtbaren Licht) soll die chemisch-mineralogische Zusammensetzung der Venusoberfläche global und in regionaler Auflösung kartiert werden – besonders spannend dürfte dabei sein, ob es mit VIRTIS gelingt, aktive Vulkane auf der Venus zu entdecken, die sich durch ihr thermisches Signal oder die bei Vulkanausbrüchen in die Atmosphäre geblasenen Gase verraten könnten. Dies wären die ersten Fernerkundungs-Messdaten aus dem Orbit, mit denen die Wechselwirkung zwischen Venusoberfläche und -atmosphäre dokumentiert würden. Das DLR entwickelte am Standort Berlin-Adlershof wesentliche Komponenten

der Kameraelektronik und beteiligt sich auch an der wissenschaftlichen Auswertung der VIRTIS-Daten.

Drei weitere Instrumente werden Daten zu Aspekten der Venusumgebung liefern. Das schwedische Experiment ASPERA zeichnet die Konzentrationen von elektrisch neutralen Atomen auf und ist in der Lage, die Ionosphäre und die Wechselwirkung des Plasmas, der vom Sonnenwind unmittelbar beeinflussten Umgebung der Venus, zu charakterisieren: Damit könnte auch ermittelt werden, in welchem Ausmaß die Venus Moleküle aus ihrer Gashülle an das Weltall abgibt. Mit dem Magnetometer MAG wird das Magnetfeld in der Umgebung des Orbiters analysiert, und schließlich wird mit dem Venus Radio Science Instrument (VeRa), für das die Bundeswehruniversität München die wissenschaftliche Leitung innehat, der Funkverkehr zwischen Venus Express und den Bodenstationen auf der Erde ausgewertet. Über den Grad der Ionisation der Venusatmosphäre will man Rückschlüsse auf dielektrische Eigenschaften der Venusoberfläche und Anomalien des Schwerfeldes ziehen.

### Das neue Bild der Venus

Zwei Venusjahre, also ungefähr 500 Tage, soll die Mission Venus Express Daten zur Erde übertragen. Viele Aspekte der Venusforschung werden dabei einer neuen Betrachtung unterzogen; am Ende des Projektes dürfte sich unser innerer Nachbarplanet, bildlich gesprochen, in einem neuen Licht präsentieren. Dies ist freilich nicht nur für das Verständnis der Venus per se von Belang, denn wie wir von der bisherigen Erkundung des einerseits so ähnlichen, aber doch auch wieder so anders gearteten Schwesterplaneten der Erde wissen, müssen die Ergebnisse dieser anspruchsvollen Erkundung unserer unmittelbaren kosmischen Umgebung mit modernen Raumsonden immer auch im Kontext einer „vergleichenden“ Planetenforschung betrachtet werden – letztlich schwingt bei der Erforschung des Sonnensystems immer die Frage mit: Warum ist die Erde in viereinhalb Milliarden Jahren so geworden, wie sie heute ist? Venus Express wird uns bei der Beantwortung dieser Frage ein gutes Stück weiterbringen.

◆ Ulrich Köhler ist Planetengeologe am DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof.



*In der Eistla-Region, wenig nördlich des Venusäquators, wölben sich zwei über 50 Kilometer große Vulkandome etwa einen Kilometer über die umgebende Ebene; wegen ihres ungewöhnlichen Aussehens bezeichnen die Forscher die Vulkane, wie sie sonst nirgends im Sonnensystem zu sehen sind, als „Pflanzenkuchen-Dome“ (Bild: NASA/JPL).*