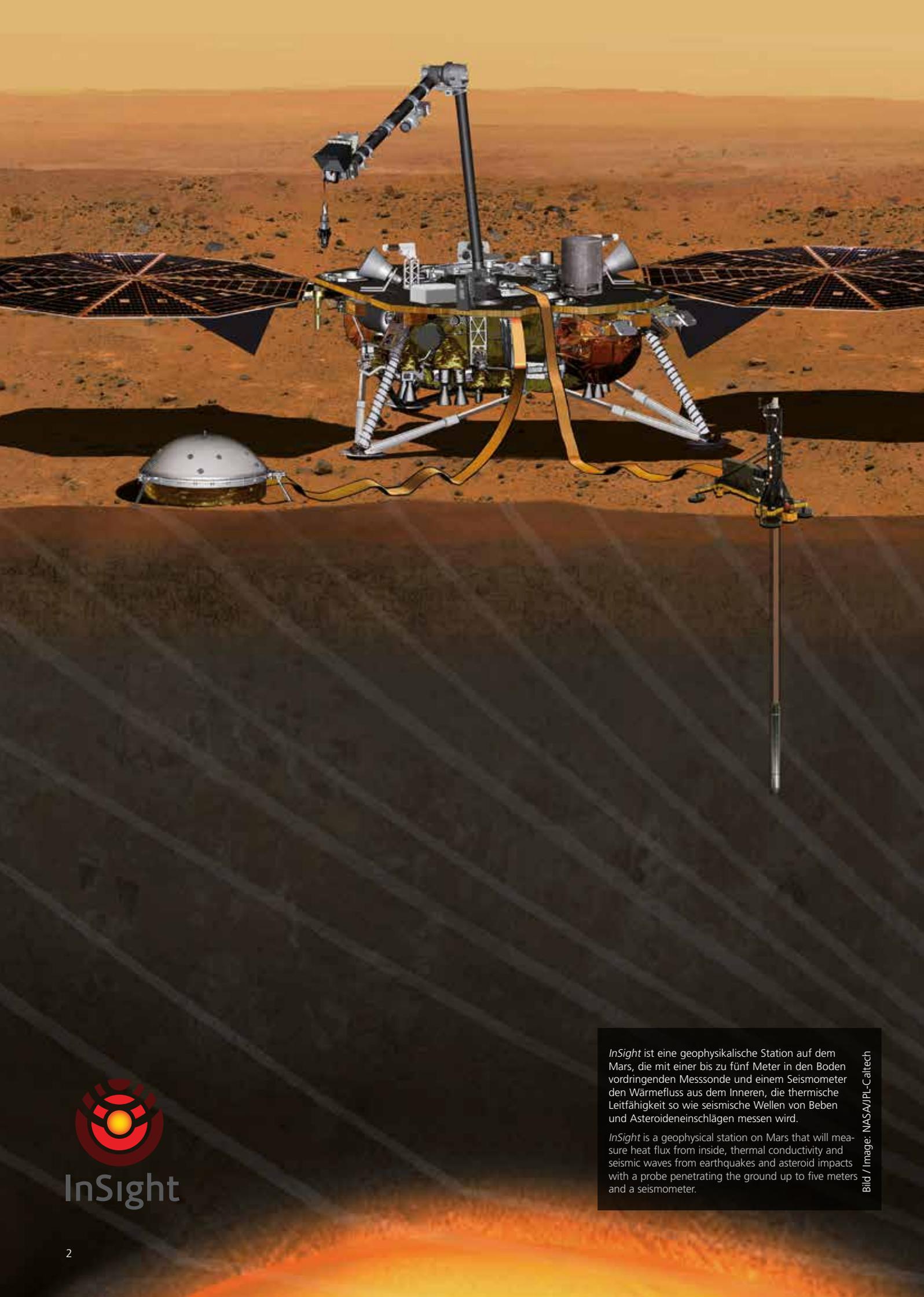


Mission InSight – Blick in das Innere des Mars  
Mission InSight – View into the Interior of Mars



*InSight* ist eine geophysikalische Station auf dem Mars, die mit einer bis zu fünf Meter in den Boden vordringenden Messsonde und einem Seismometer den Wärmefluss aus dem Inneren, die thermische Leitfähigkeit so wie seismische Wellen von Beben und Asteroideneinschlägen messen wird.

*InSight* is a geophysical station on Mars that will measure heat flux from inside, thermal conductivity and seismic waves from earthquakes and asteroid impacts with a probe penetrating the ground up to five meters and a seismometer.

Bild / Image: NASA/JPL-Caltech

# Inhaltsverzeichnis

## Table of Contents

InSight – die Mission _____	04
InSight – the Mission	
Der Mars, ein terrestrischer Planet _____	06
Mars, a Terrestrial Planet	
Mars – Aufbau und Entwicklung _____	08
Mars – Formation and Evolution	
Ein geophysikalisches Observatorium für den Mars _____	10
A Geophysical Observatory for Mars	
Landeplattform, Bordsysteme und Kommunikation _____	13
Lander Platform, on-Board Systems and Communications	
Das Experiment HP <sup>3</sup> _____	15
The HP <sup>3</sup> Experiment	
Das Seismometer SEIS _____	18
The SEIS Seismometer	
Minisatelliten, Neigungsmesser und Laserreflektoren _____	20
Mini Satellites, Inclimeters and Laser Reflectors	
Marsforschung – ‚Folge dem Wasser!‘ _____	22
Mars Exploration – ‘Follow the Water!’	
Impressum _____	24
Imprint	

# InSight – die Mission

## InSight – the Mission

### InSight online

[www.dlr.de/InSight](http://www.dlr.de/InSight)

[www.jpl.nasa.gov/missions/insight/](http://www.jpl.nasa.gov/missions/insight/)

[insight.cnes.fr/en/INSIGHT/index.htm](http://insight.cnes.fr/en/INSIGHT/index.htm)

<http://www.ipgp.fr/en/mission-insight>

Mit der Mission *InSight* (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) wird ein lang gehegter Wunsch der Planetenforscher in die Tat umgesetzt: ein geophysikalisches Observatorium auf einem der erdähnlichen Planeten. Auf der Erde verfügen wir über eine Vielzahl von geophysikalischen Messstationen, oft spezialisiert als seismische, magnetische, geothermische Observatorien und auch Wetterstationen, die miteinander vernetzt sind und die Erdoberfläche abdecken. Die ursprünglichen und über lange Zeit vorbereiteten Pläne für unseren Nachbarplaneten sahen deshalb auch Netzwerke von mindestens drei Stationen vor, sodass man mit klassischen seismologischen Methoden Marsbeben würde lokalisieren und analysieren können. Auch den geothermischen Wärmefluss, das Magnetfeld und das Wetter, also Temperatur, Luftdruck und Windgeschwindigkeit, beobachtet man besser an mehreren Stellen, weil diese physikalischen Größen mit dem Ort variieren.

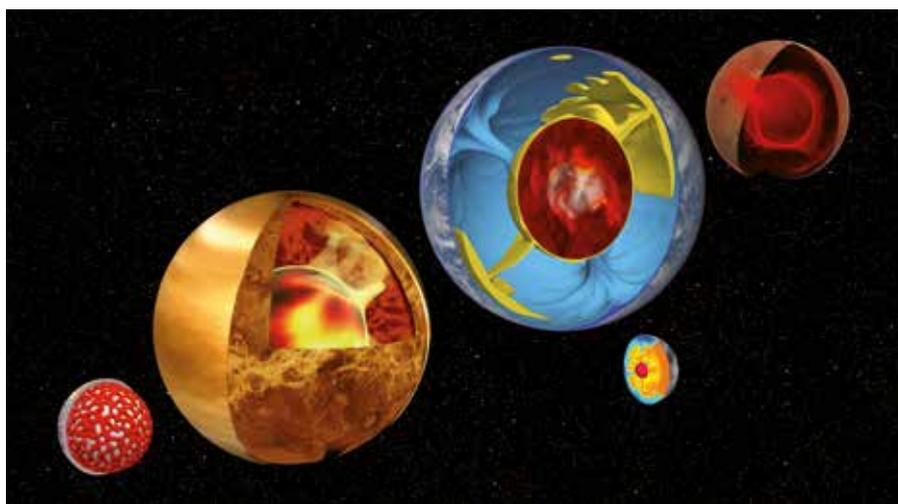
Für *InSight* haben die Wissenschaftler Methoden entwickelt, um die Daten nur einer einzigen Station optimal zu nutzen. Die NASA wählte die Mission 2012 für das Discovery-Programm aus. Bei ihr verknüpfen sich amerikanische Kompetenz in der Landertechnologie mit europäischer Kompetenz bei geophysikalischen Instrumenten. Dazu gehört das in Frankreich entwickelte Seismometer SEIS und die am DLR gebaute Wärmeflusssonde HP<sup>3</sup> mit Radiometer. Hilfsinstrumente des Seismometers sind Wettersensoren und ein Magnetometer. Durch Frequenzverschiebungen im Funkverkehr können Schwankungen der Rotationsachse vermessen werden.

The Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport (*InSight*) mission to Mars will see the long-harboured wishes of planetary scientists come true, in the form of a geophysical observatory on a terrestrial planet. On Earth, we have geophysical stations for seismic, magnetic or geothermal observations, as well as weather stations – networked and spread all over the Earth's surface. The original plans for Mars, developed over many years, thus envisaged networks of at least three stations that would enable the localisation and analysis of marsquakes using conventional seismological methods. The geothermal heat flow, the magnetic field and the weather, temperature, air pressure and wind speed, can be observed more effectively across several places, as these physical parameters vary from site to site.

Scientists have developed methods for the optimal use of the data from a single station for *InSight*. In 2012, NASA selected the mission for its Discovery Programme. *InSight* brings together US expertise in lander technology and European skills in geophysical instruments. These include the SEIS seismometer, developed in France, and the HP<sup>3</sup> heat flow probe with a radiometer, built at DLR. The lander is also equipped with weather sensors and a magnetometer to support the seismometer. Tiny changes in the inclination of Mars' spin axis can be detected through the frequency shift of radio communication.

Typische Muster für die innere Dynamik der erdähnlichen Körper im Sonnensystem, v.l.n.r. Merkur, Venus, Erde mit Mond, und Mars. Die Darstellung basiert auf numerischen Modellen der thermischen Entwicklung von erdähnlichen Planeten, die am DLR berechnet wurden.

Typical patterns for interior dynamics of terrestrial bodies of the Solar System. From left to right: Mercury, Venus, Earth with the Moon, and Mars. The image is based on numerical models of the thermal evolution of terrestrial planets, developed at DLR.



Die Ebene Elysium Planitia ist das Ziel von *InSight*. Die Mission wird nach den beiden *Viking*-Landern und *Phoenix* die vierte stationäre NASA-Landesonde auf dem Mars sein. *Pathfinder*, *Spirit*, *Opportunity* und *Curiosity* sind mobile Rovermissionen.

*InSight's* final destination is Elysium Planitia. This mission will be the fourth stationary probe on Mars, following the *Viking* landers and *Phoenix*. *Pathfinder*, *Spirit*, *Opportunity* and *Curiosity* are mobile rover missions.

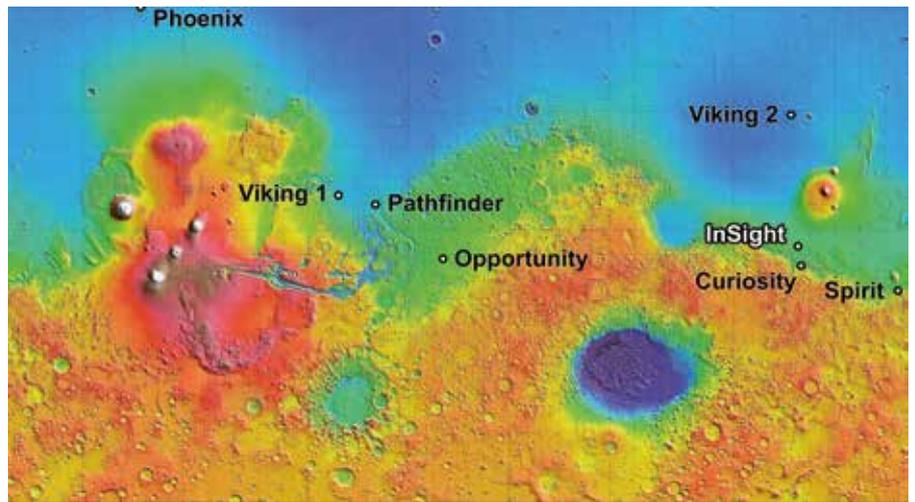


Bild / Image: NASA/JPL-Caltech

Das Design der Landesonde wurde zu großen Anteilen von der erfolgreichen *Phoenix*-Landesonde der NASA übernommen, die am 25. Mai 2008 in der Nähe des Marsnordpols landete und sechs Monate lang Experimente durchführte. Das Raumfahrtunternehmen Lockheed Martin Space Systems begann im Mai 2014 im Auftrag der NASA mit dem Bau von *InSight*. Schließlich hob *InSight* am 5. Mai 2018 um 5.05 Uhr Ortszeit an Bord einer Atlas-Trägerrakete von der Vandenberg Air Force Base an der kalifornischen Pazifikküste ab. Die Reisezeit zum Mars wurde mit 205 Tagen berechnet. Am 26. November 2018 wird *InSight* von der Antriebsstufe getrennt und beginnt ihren siebenminütigen ballistischen Flug durch die Marsatmosphäre. Die Landekapsel tritt mit einer Geschwindigkeit von 5,8 Kilometern pro Sekunde in die Gashülle des Mars ein. Dabei erhitzt sich der konische Schutzschild auf bis zu 1500 Grad Celsius. Ist die Sonde stark genug abgebremst, wird der Hitzeschutzschild abgestoßen und ein Überschall-Bremfallschirm entfaltet sich, der kurz vor der Landung gekappt wird. *InSight* wird schließlich etwa um 21 Uhr MEZ sanft mit Bremstriebwerken auf der Marsoberfläche aufsetzen.

Die geplante Landestelle bei 4,5 Grad nördlicher Breite und 135,9 Grad östlicher Länge in der Ebene Elysium Planitia weist nur wenige geologische Besonderheiten auf. Sie wurde ausgewählt, um mit möglichst wenig Risiko alle Instrumente sicher an ihr Ziel zu bringen. Da es durch kleine Ungenauigkeiten in der Steuerung und die Wirkung der Atmosphäre während des Abstiegs zu Abweichungen vom geplanten Kurs kommen kann, muss ein ausreichend großes Gebiet ausgewählt werden, welches typischerweise eine in Flugrichtung langgestreckte Ellipse ist.

The design of the lander was largely copied from NASA's successful *Phoenix* probe, which landed near the Martian north pole on May 25, 2008 and conducted experiments for six months. The aerospace company Lockheed Martin Space Systems began constructing *InSight* on behalf of NASA in May 2014. *InSight* was launched at 05:05 am (local time) on 5 May 2018 on board an Atlas launcher from Vandenberg Air Force Base on the Californian Pacific Coast. The travel time to Mars was calculated with 205 days. On 26 November 2018, *InSight* will separate from its cruise stage and embark on its seven minute ballistic flight through the Martian atmosphere. The landing capsule will enter Mars' gaseous envelope at a speed of 5.8 kilometres per second, two minutes later the conical heat shield will reach temperatures of 1500 degrees Celsius. When the probe has slowed down enough, the heat shield will be jettisoned and a supersonic brake parachute will open, before being severed shortly before landing. Then, *InSight* will use its retro-rocket engines to touch down gently on the Martian surface, expected to happen around 21:00 CET.

The planned landing site, located at 4.5 degrees north and 135.9 degrees east in Elysium Planitia has few geological features. This plain site was chosen mainly for safety considerations. A sufficiently large area needed to be selected as atmospheric effects during the descent may lead to deviations from the planned course. This is typically an ellipse elongated in the direction of flight.

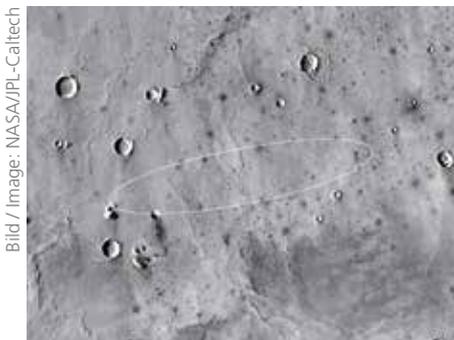


Bild / Image: NASA/JPL-Caltech

Der anvisierte Landepunkt in Elysium Planitia liegt wegen Unwägbarkeiten beim Durchfliegen der Marsatmosphäre in einer Ellipse von 140 Kilometern Länge und 30 Kilometern Breite.

*InSight's* touchdown site in Elysium Planum is found in the centre of a landing-area ellipse 140 kilometres long and 30 kilometres wide, which was selected as small inaccuracies in controlling the probe and atmospheric effects during the descent may lead to deviations from the planned course.

# Der Mars, ein terrestrischer Planet

## Mars, a Terrestrial Planet

### Fakten

Masse	$6,417 \times 10^{23}$ kg
Radius	3396 km
Dichte	3934 kg/m <sup>3</sup>
Rotationsperiode	24,62 h
Orbitalperiode	687 Tage
Durchschnittliche Entfernung von der Sonne	$227,9 \times 10^6$ km

Von der Sonne aus gesehen ist der Mars der vierte Planet und der äußere Nachbar der Erde. Dieser ist er in vielem ähnlich, vor allem in den geologischen Prozessen, die seine Oberfläche formten. Sein Durchmesser ist nur etwa halb so groß und seine Masse beträgt nur ein Zehntel von der der Erde. Ebenso hat der Mars einen Eisenkern, der von einem Mantel und einer Kruste aus Silikatgesteinen umgeben ist. Auch die Neigung seiner Rotationsachse ist mit 25,2 Grad der Erde sehr ähnlich, weshalb es im 687-tägigen Jahreslauf auch auf dem Mars zu Jahreszeiten kommt. Wegen seiner rötlichen, entfernt an Blut erinnernden Farbe erhielt der Planet seinen Namen nach dem römischen Gott des Krieges, Mars.

Markante Unterschiede zur Erde liegen vor allem in der dünnen Atmosphäre, dem heute fehlenden Magnetfeld und den niedrigen Temperaturen auf seiner Oberfläche. Bei durchschnittlich minus 60 Grad Celsius und einem Luftdruck von weniger als einem Prozent der Erdatmosphäre gibt es dort kein flüssiges Wasser, zumindest heute nicht mehr. Trotz des Fehlens von Wasser und der niedrigen Temperaturen ist es denkbar, dass es auf dem Mars einst primitives Leben gegeben hat oder vielleicht sogar noch heute Mikroorganismen im Boden existieren könnten. Die Marsatmosphäre besteht überwiegend aus Kohlendioxid. In ihr entwickeln sich jahreszeitlich bedingt gewaltige und lang anhaltende Stürme, die Sand und Staub bis in eine Höhe von 50 Kilometern aufwirbeln und über den ganzen Planeten verteilen.

Der Mars wird grob in zwei große Regionen unterteilt: die nördlichen Tiefebene und das südliche Hochland mit zahlreichen Einschlagskratern. Die bis zu zehn Kilometer tiefen Gräben der Valles Marineris erstrecken sich über 4000 Kilometer entlang des Äquators. Der Planet ist stark durch Vulkanismus geprägt. Der Vulkan Olympus Mons ragt 26 Kilometer über seine Umgebung auf. Heute sind die Vulkane erloschen, doch scheinen manche von ihnen noch bis in die geologisch jüngste Vergangenheit aktiv gewesen zu sein. Mit dem Vulkanismus verknüpft sind zahlreiche tektonische Deformationen und Störungen. Allerdings hat der Mars, im Gegensatz zur Erde, keine Plattentektonik.

Die Oberfläche des Roten Planeten wurde durch Wasser, Eis, Gletscher und heute vor allem Wind gestaltet. Verzweigte Talsysteme im älteren Marshochland zeugen von einem Wasserkreislauf. Radarmessungen zeigen, dass der Mars über ein beträchtliches Vorkommen an Bodeneis verfügt. Eindrucksvoll sind die beiden Polkappen, die je nach Jahreszeit wachsen oder schrumpfen und aus Wasser- und Kohlendioxid bestehen. Heute ist die Oberfläche eine trockene Wüstenlandschaft: Große Dünenfelder zeugen von der Aktivität des Windes.

Der Mars wird von den beiden Monden Phobos und Deimos umkreist. Beide besitzen eine unregelmäßige Form und haben eine sehr dunkle Oberfläche. Phobos ist mit  $26 \times 23 \times 18$  Kilometern der größere der beiden Marsmonde. Der kleinere, Deimos, umkreist den Mars in größerer Entfernung und ist  $16 \times 12 \times 10$  Kilometer groß. Der Ursprung der beiden Marsmonde ist noch nicht eindeutig geklärt.

Der Mars ist nur halb so groß wie die Erde und seine Oberfläche entspricht ihrer Landfläche. Er ist ein kalter Wüstenplanet, der von einer dünnen Atmosphäre umgeben ist. Die zum Teil riesigen Vulkane sind heute vermutlich nicht mehr aktiv.

Mars has a diameter only half that of Earth, and its surface is about identical to that of the Earth's continents. It is a cold desert world, surrounded by a thin atmosphere. The sometimes huge volcanoes are probably no longer active today.

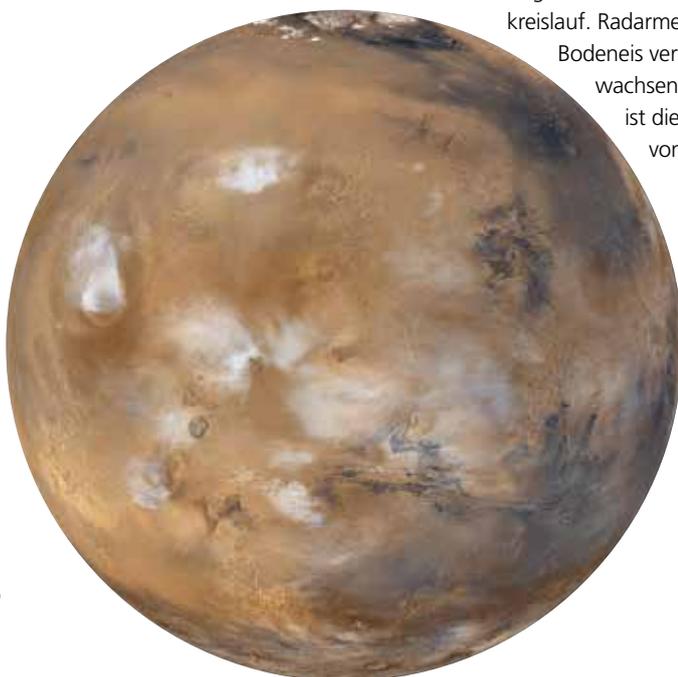


Bild / Image: NASA/JPL/MSSS

Auf dem Mars gibt es zahlreiche Gebiete, die Spuren von fließendem Wasser zeigen, wie zum Beispiel das Mündungsgebiet des Talsystems Kasei Valles, wo auf einer Breite von mehr als hundert Kilometern ein über 2000 Kilometer langes Tal in die nördlichen Tiefebene mündet.

On Mars, there are numerous areas that show traces of liquid water, such as the mouth of the Kasei Valles outflow channels, where, over a width of more than 100 kilometres, a valley over 2000 kilometres long flowed into the northern lowlands.



Bild / Image: ESA/DLR/FU Berlin

Mars is the fourth planet from the Sun, and Earth's outer neighbour. It is similar to Earth in many ways, especially in the geological processes that shaped its surface. It's diameter is only about half the size of the Earth and the planet has only one tenth of its mass. Like Earth, Mars has an iron core covered by a silicate mantle and crust. The 25.2-degree inclination of its spin axis is also very similar to that of Earth, and means that Mars also has seasons over the course of its 687-day year. The planet was named after the Roman god of war due to its reddish colour, reminiscent of blood.

The greatest differences with Earth are particularly the very thin atmosphere, the lack of a magnetic field and the low temperatures on the surface. With an average temperature of minus 60 degrees Celsius and an atmospheric pressure less than one percent that of the Earth's atmosphere, there is no liquid water on Mars – at least not today. Despite the lack of water and the low temperatures, it is conceivable that primitive life may once have existed on Mars, and that there might still be microorganisms in the subsurface today. The Martian atmosphere consists primarily of carbon dioxide. Huge and long-lasting seasonal storms evolve within it, causing dust and sand to swirl up to a height of 50 kilometres and spread throughout the entire planet.

Mars is roughly divided into two large regions: the northern lowlands and the southern highlands, which is pockmarked with countless impact craters. The up to 10-kilometre-deep trenches of Valles Marineris stretch over 4000 kilometres along the equator. The planet has been heavily influenced by volcanic activity. The Olympus Mons volcano towers 26 kilometres over the surrounding landscape. Today, the volcanoes are extinct, but some appear to have been active even in the recent geological past. Numerous tectonic deformations and disturbances have been linked to this volcanic activity. But, unlike Earth, Mars does not have any plate tectonics.

The surface of the Red Planet was shaped by water, ice, glaciers and, recently, predominantly by wind. Branching valley systems in the older Martian highlands indicate the presence of a water system at some point in time. Radar measurements show that Mars has a considerable amount of ground ice. Particularly striking are the two polar ice caps, which grow or shrink depending on the time of year and consist of water ice and carbon dioxide ice. Today, the surface is a dry desert landscape, with large dune fields due to the activity of the wind.

Mars has two moons – Phobos and Deimos. Both are irregularly shaped and have a very dark surface. With 26 × 23 × 18 kilometres, Phobos is the larger of the two moons. Deimos orbits Mars from a greater distance and is only 16 × 12 × 10 kilometres across. The origin of the two moons is not yet entirely clear.

#### Facts

Mass	$6.417 \times 10^{23}$ kg
Radius	3396 km
Density	3934 kg/m <sup>3</sup>
Rotation period	24.62 h
Orbital period	687 days
Mean distance to the Sun	$227.9 \times 10^6$ km

Bild / Image: ESA/DLR/FU Berlin



Der Mond Phobos, aufgenommen aus 1660 Kilometern Entfernung vor dem Hintergrund der Atmosphäre, umkreist den Mars in 6000 Kilometer Höhe.

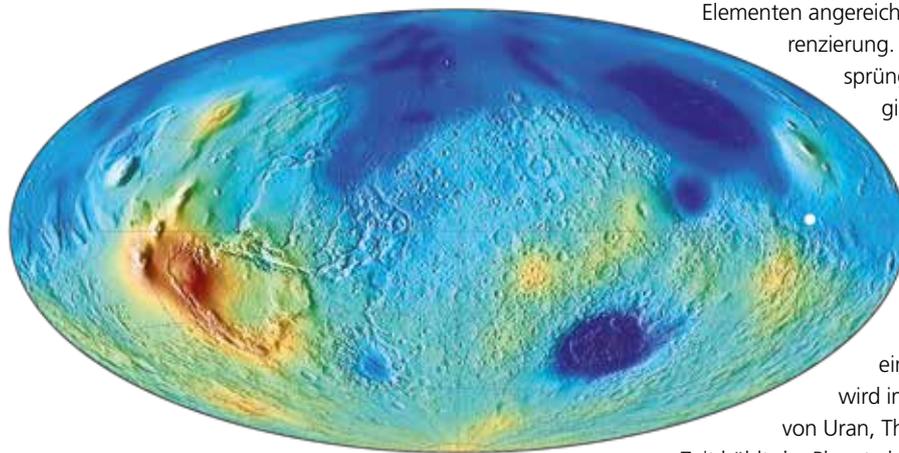
Mars' largest moon is Phobos, which orbits the Red Planet at an altitude of 6000 kilometres. This image, acquired from a distance of 1660 kilometres, shows Phobos in front of the Martian atmosphere.

# Mars – Aufbau und Entwicklung

## Mars – Formation and Evolution

Aufnahmen von Raumsonden zeigen uns, wie die Oberflächen des Mondes und unserer Nachbarplaneten aussehen. Wie das Innere beschaffen ist und wie es sich entwickelt hat, lässt sich jedoch nur indirekt feststellen. Die Mission InSight wird mit geophysikalischen Messmethoden einen ‚Blick‘ ins Innere des Mars werfen und so Rückschlüsse auf die anderen Körper im Sonnensystem ermöglichen.

Der innere Aufbau der erdähnlichen Planeten wird durch die frühesten Stadien ihrer Entwicklung bestimmt. Nach der Formung eines Planeten, der sogenannten Akkretion, kommt es durch die riesige Wärmemenge im Inneren zu einem ausgedehnten Schmelzvorgang. Dabei trennen sich die Metalle von den Gesteinen. Letztere sinken ins Zentrum des Planeten ab und sammeln sich dort, während die Gesteine, die hauptsächlich aus Silikaten bestehen, den äußeren Gesteinsmantel bilden. Weitere Schmelzvorgänge lassen über dem Mantel eine Kruste entstehen, die aus leichteren Gesteinen besteht und mit wärmeproduzierenden radioaktiven



Eine auf Modellrechnungen basierende Wärmeflusskarte des Mars zeigt, dass der Wärmefluss oft dort höher sein sollte, wo die Kruste dicker ist (gelbe und bräunliche Farbtöne). Die Ursache liegt in der Anreicherung der Kruste mit radioaktiven Elementen. Für die *InSight*-Landestelle (weißer Punkt) wird ein durchschnittlicher Wert erwartet.

A model-based heat-flow map of Mars shows that heat flux should be higher where the crust is thicker (yellow and brown hues). The cause lies in the enrichment of the crust with radioactive elements. An average value is expected at the *InSight* landing site (white dot).

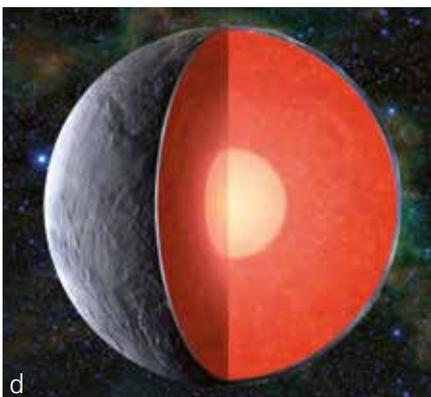
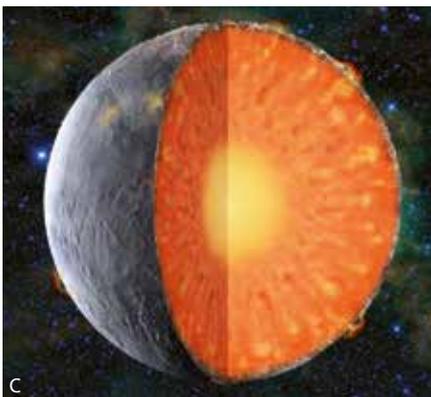
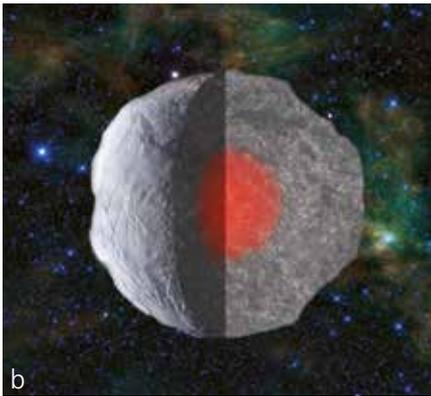
Elementen angereichert ist. Diesen Vorgang bezeichnet man als Differenzierung. Mit fortschreitender Abkühlung kann sich der ursprünglich flüssige eisenreiche Kern zu verfestigen beginnen und weiter differenzieren, so dass – wie beispielsweise in der Erde – eine feste innere und flüssige äußere Schicht entsteht.

Man kann die Planeten modellhaft als Wärmekraftmaschinen betrachten, ähnlich wie Dampfmaschinen. Als sie gebildet wurden, heizten sich diese durch die Einschläge der auf sie einstürzenden Planetesimale auf. Darüber hinaus wird im Gestein durch den Zerfall radioaktiver Isotope von Uran, Thorium und Kalium Wärme erzeugt. Im Laufe der

Zeit kühlt der Planet ab. Die Abkühlung erfolgt im tiefen Innern durch den ‚konvektiven Wärmetransport‘ – Wärmetransport durch Bewegung. Vereinfacht gesagt, steigt dabei heißes Gestein Richtung Oberfläche auf und kaltes sinkt ins Innere. Die Bewegung des heißen, manchmal geschmolzenen Gesteins verursacht Gebirgsbildung und Vulkanismus: Der Planet leistet dabei mechanische Arbeit, wie eine Wärmekraftmaschine.

Images acquired by space probes show us the surfaces of the Moon and our neighbouring planets. But their internal structure and its evolution can only be determined indirectly. The *InSight* mission will use geophysical measurement techniques to gain an ‘insight’ into Mars’ interior and thus enable conclusions to be drawn about other bodies in the Solar System.

The inner structure of terrestrial planets is determined during the earliest stages of their evolution. After a planet forms, a process known as accretion, the immense concentration of heat in its interior leads to an extensive melting process, during which the metals separate from the rock. Heavy metals sink to the centre of the planet, where they accumulate, while the rocks, which consist primarily of silicates, form the outer rock mantle. Further melting processes cause a crust to form over the mantle, which consists of lighter silicate rock, enriched with heat-producing radioactive elements. This process is referred to as differentiation. As it cools down, the originally liquid iron-rich core begins to solidify and differentiate further, so that – as is the case on Earth – a solid inner and liquid outer layer is formed.



Modell der Entstehung von Gesteinsplaneten: (a) aus Planetesimalen entstehen Protoplaneten; (b) Hitzeentwicklung durch Akkretionswärme und Zerfall radioaktiver Elemente; (c) fast vollständiges Aufschmelzen, Metalle formen im Zentrum einen Kern; (d) Gesteine bildeten den Mantel und eine erste Kruste.

Model of the formation of rocky planets: (a) planetesimals form protoplanets; (b) heat generated by accretion and decay of radioactive elements; (c) almost complete melting; metals form a core in the centre; (d) rocks form the mantle and a first crust.

Die konvektive Kühlung des Gesteinsmantels kann sogar Konvektion im Kern und dabei einen Dynamomechanismus antreiben, der ein planetenweites Magnetfeld erzeugt, wie wir es von der Erde kennen. Dies ist beim Mars heute nicht mehr so, muss aber in der Vergangenheit der Fall gewesen sein, wie die noch vorhandene Magnetisierung des Gesteins zeigt.

Der Mars gibt wahrscheinlich deutlich weniger Wärme von der Oberfläche ab als die Erde, die im Mittel 80 Milliwatt pro Quadratmeter abstrahlt. Dies liegt einerseits daran, dass der Mars kleiner als die Erde ist und daher weniger Wärme gespeichert hat und möglicherweise auch etwas weniger radioaktive Elemente enthält. Andererseits kennen wir den Effekt, dass kleinere Körper rascher abkühlen, weil ihre Oberfläche im Verhältnis zum Volumen größer ist. Das HP<sup>3</sup>-Experiment auf *InSight* soll Aufschluss über den Oberflächenwärmefluss des Mars geben. Die Wissenschaftler erwarten, dass er etwa 20 bis 25 Milliwatt pro Quadratmeter abstrahlt.

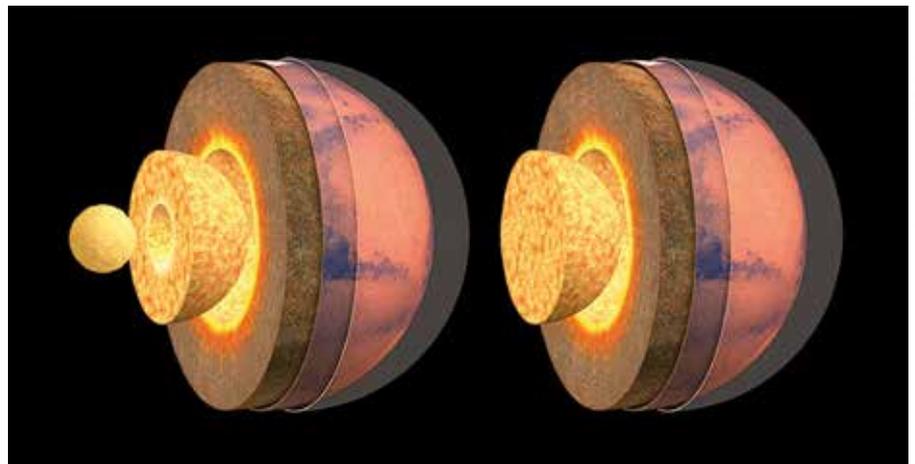
One could say that planets are heat engines, much like steam engines. When they were formed, they were heated up by the impacts of planetesimals – the predecessors of the planets – that crashed upon them. Heat is also produced in the rocks by the decay of radioactive uranium, thorium and potassium isotopes. The planet cools down over time. This cooling takes place deep within the planet through convective heat transfer – heat transfer through movement. Simply put, hot rock rises towards the surface, while cold rock sinks towards the interior. The movement of the hot, sometimes molten rock leads to the formation of mountains and gives rise to volcanic activity, so that the planet is essentially performing mechanical work, like a heat engine.

The convective cooling of the rocky mantle may even drive convection in the core and thus power a dynamo mechanism that generates a planet-wide magnetic field of the kind that we are familiar with on Earth. Although this is no longer the case on Mars, it must have occurred in the past, still visible in the magnetization of rocks.

Mars' surface is thought to radiate substantially less heat than Earth's, which emits an average of 80 milliwatts per square metre. On the one hand, this is because Mars is smaller than Earth and therefore has less stored heat and possibly less quantities of radioactive elements. On the other hand, we are familiar with the effect whereby smaller bodies cool down more quickly because their surface area is larger with respect to their volume. The HP<sup>3</sup> experiment on board *InSight* will provide information about the heat flow on the Martian surface. Scientists expect it to radiate about 20 to 25 milliwatts per square metre.

Der Zustand des metallischen Marskerns ist Gegenstand von Spekulationen. Unklar ist, ob er, wie bei der Erde aus einem festen inneren und einem geschmolzenen äußeren Kern besteht (links), oder geschmolzen ist (rechts).

The state of Mars's metal core is subject to speculation. It is unclear whether, as in the case of Earth, it consists of a solid inner and a molten outer core (left), or is in a molten state (right).



# Ein geophysikalisches Observatorium für den Mars

## A Geophysical Observatory for Mars

Wie sind die erdähnlichen Planeten entstanden? Wie verlief ihre frühe Entwicklung? Und wie sind sie aufgebaut? Diese und weitere Fragen sollen mit der robotischen NASA-Landesonde *InSight* beantwortet werden. Die Mission wird vor Ort den Aufbau des Mars aus Kruste, Mantel und Kern sowie seine thermische Entwicklung untersuchen. Die Erforschung des Inneren unseres Nachbarplaneten soll dazu beitragen, fundamentale Fragen zur Frühzeit des inneren Sonnensystems mit seinen vier Planeten Merkur, Venus, Erde (mitsamt dem Mond) und eben dem Mars zu beantworten. Alle Körper entstanden vor etwa viereinhalb Milliarden Jahren im heißen solaren Urnebel nahe der Sonne, haben aber allesamt eine unterschiedliche Entwicklung genommen. Die Ergebnisse von *InSight* werden auch dazu dienen, die Entstehung, die Entwicklung und den Aufbau von extrasolaren Planeten – Planeten in Umlaufbahnen um andere Sterne – besser zu verstehen.

Mit *InSight* startete am 5. Mai 2018 eine Mission, die mit geophysikalischen Messungen direkt auf der Marsoberfläche den inneren Aufbau und den Wärmehaushalt des Planeten erkunden wird. Das DLR steuert das Instrument HP<sup>3</sup> (**H**eat **F**low and **P**hysical **P**roperties **P**ackage) zu dieser Mission bei, das mithilfe eines Schlaghammer-Mechanismus in den Boden eindringen wird. Es ist das erste Mal seit der Astronautenmission *Apollo 17* im Jahre 1972, dass Wärmeflussmessungen mit dieser Methode auf einem anderen Himmelskörper durchgeführt werden, in diesem Fall sogar robotisch und ohne die Kontrolle durch Menschenhand. *InSight* wird nach bisher sieben erfolgreichen Landungen auf dem Mars die erste wissenschaftliche Mission sein, die ihren Schwerpunkt auf geophysikalische Messungen legt. Die Missionsdauer ist zunächst auf ein Marsjahr festgelegt, was etwa zwei Erdenjahren entspricht.

*InSight* misst zum einen direkt auf der Marsoberfläche mit dem Experiment HP<sup>3</sup> entlang eines Bohrlochs von fünf Metern Tiefe den Wärmefluss des Planeten, außerdem zeichnet das Seismometer SEIS die von tektonischer Aktivität und durch Meteoriteneinschläge ausgelösten Bebenwellen auf. Mit Hilfe von Radiowellen (Experiment RISE) kann die Rotation des Planeten vermessen werden. Weitere Sensoren messen die Lufttemperatur, Luftdruck und Windgeschwindigkeit und Stärke des Magnetfelds an der Landestelle. Ein Radiometer für die Messung der thermischen Strahlung ergänzt die Daten der Wärmeflusssonde.

Bei einem Test im Reinraum werden die Solarpanele entfaltet und die *InSight*-Landesonde in der Einsatzkonfiguration getestet.

During a test in the clean room, the solar panels are unfolded and the *InSight* landing probe is tested in its deployment configuration.



Bild / Image: NASA/JPL-Caltech/Lockheed Martin

Die *InSight*-Systemplattform (a) mit (b) Roboterarm zur Platzierung der Instrumente; (c) Greifmechanismus; (d) RISE-Antenne; (e) Thermometer/Windmesser; (f) Barometer; (g) Ultrahochfrequenz-Antenne; (h) Experiment-Beobachtungskamera; (i) SEIS-Instrument (unter Wind- und Wärmeschutzglocke); (j) HP<sup>3</sup>-Instrument; (k) Flachbandkabel mit Temperatursensoren; (l) Wärmeleitfähigkeitssonde mit Hammermechanismus ('Maulwurf').

The *InSight* system platform (a) with (b) robotic arm for instrument deployment; (c) gripper mechanism; (d) RISE antenna; (e) thermometer/anemometer; (f) barometer; (g) ultra-high frequency antenna; (h) experiment-observation camera; (i) SEIS instrument (under wind and thermal shield); (j) HP<sup>3</sup> instrument; (k) tether with temperature sensors; (l) heat conductivity probe with hammering mechanism ('mole').

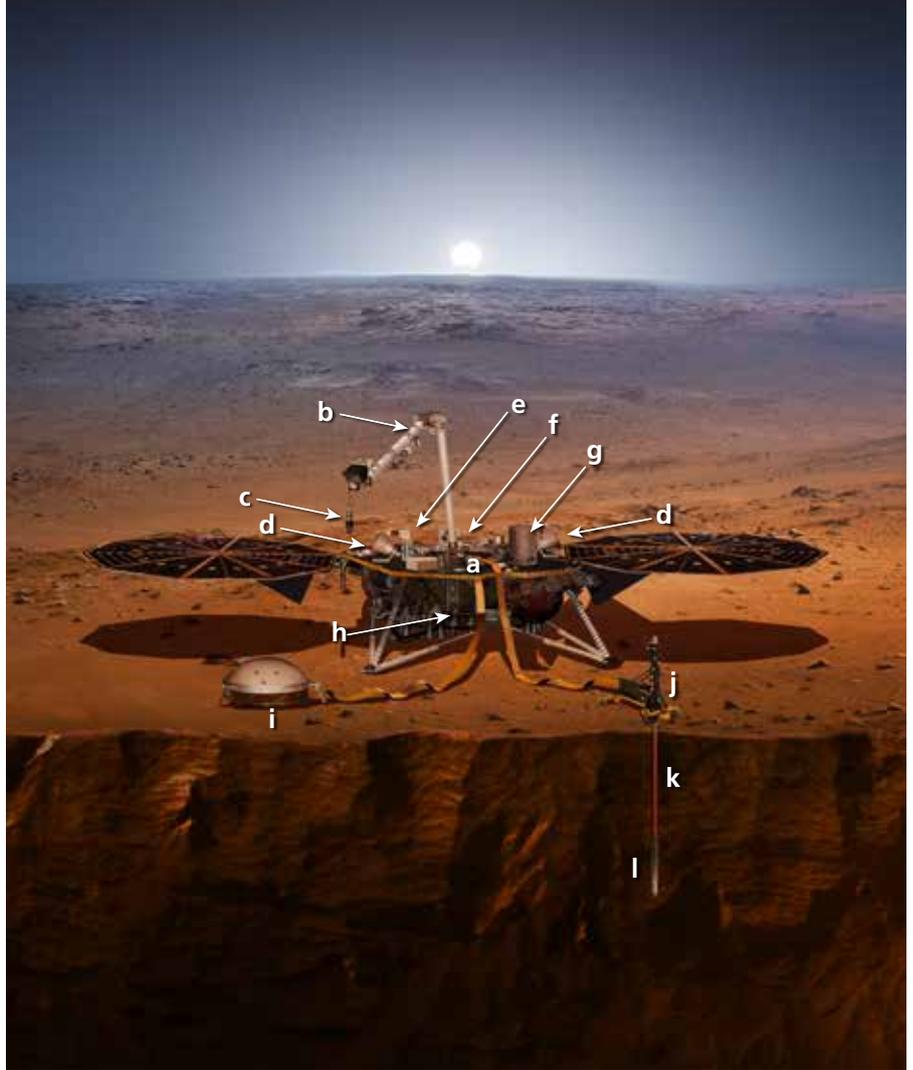


Bild / Image: NASA/JPL-Caltech



Bild / Image: NASA/JPL-Caltech/Lockheed Martin

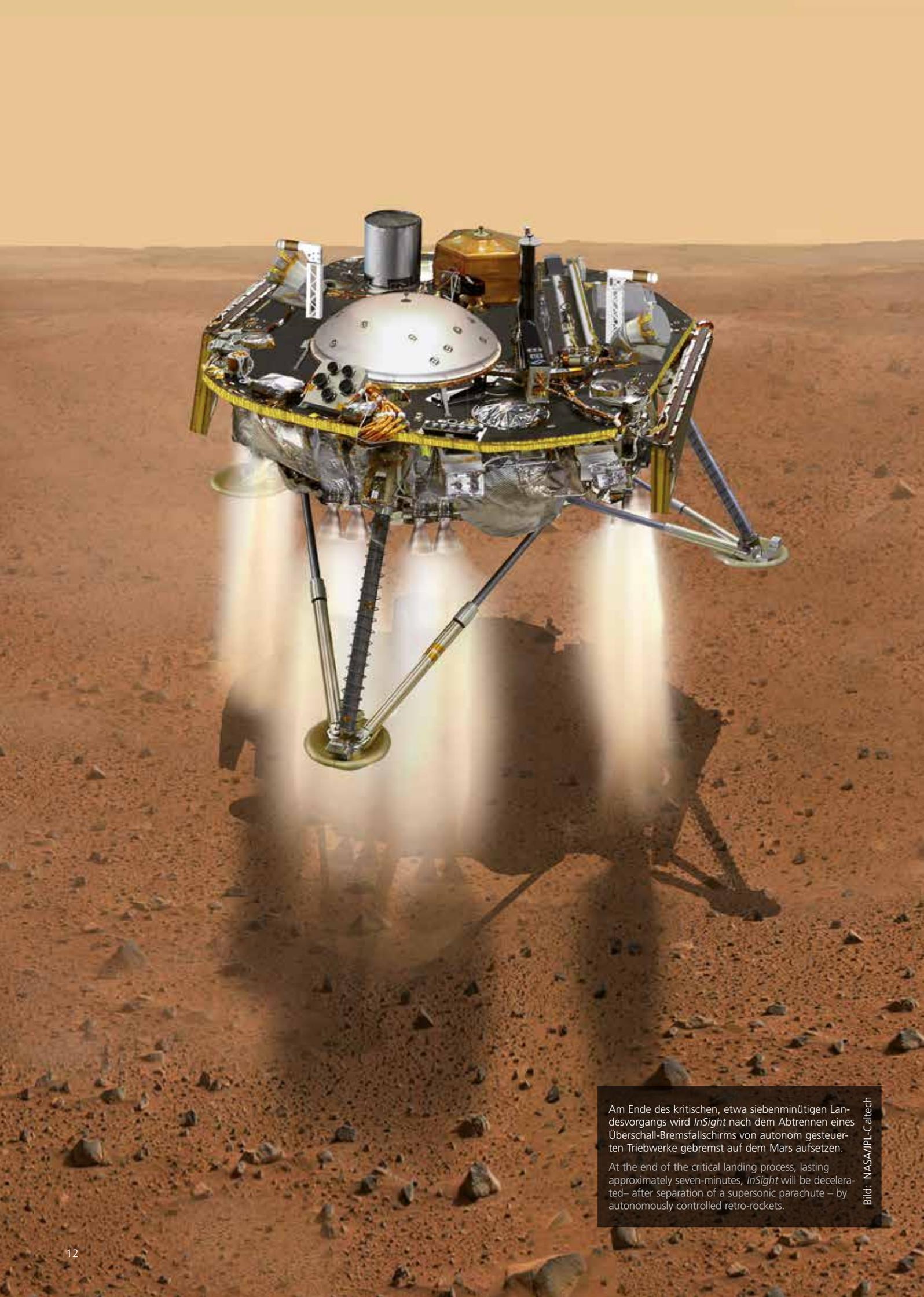
Letzte Tests für *InSight* in Flugkonfiguration. Die Raumsonde befindet sich im Innern der konisch geformten, mit der Transferstufe verbundenen Atmosphären-Eintrittskapsel.

Last tests for *InSight* in flight configuration. The space probe is located inside the conically shaped atmospheric entry capsule, which is connected to the cruise stage.

How did terrestrial planets form? How was their early evolution? And what is their interior structure? These and other questions will be answered by the robotic NASA lander *InSight*. The mission will examine the structure of the Martian crust, mantle and core, as well as its thermal evolution, all directly on site. Researching the interior of our neighbouring planet should provide answers to fundamental questions about the early history of the inner Solar System and its four planets – Mercury, Venus, Earth (plus the Moon) and Mars itself. Although all of these bodies were formed around four and a half billion years ago in the hot primordial solar nebula that circled the Sun, they have evolved differently. The results of *InSight* will also serve to give us a better understanding of the formation, evolution and structure of extrasolar planets – planets orbiting other stars.

Launched on 5 May 2018, the NASA *InSight* mission will see a lander probe carry out geophysical measurements directly on the surface of Mars, in order to explore the planet's inner structure and heat balance. DLR is providing the HP<sup>3</sup> (**H**eat **F**low and **P**hysical **P**roperties **P**ackage) instrument for the mission, which will penetrate the ground using a hammering mechanism. This will be the first time since the *Apollo 17* astronaut mission in 1972 that heat flow measurements are carried out on another celestial body using this method, although this time it will be done robotically and without human intervention. Following seven successful Mars landing missions, *InSight* will be the first scientific mission to focus on geophysics. The duration of the mission is initially set at one Martian year, which corresponds to approximately two Earth years.

*InSight* will measure the planet's heat flow directly from the surface using the HP<sup>3</sup> experiment along a five-metre deep borehole, while the seismometer SEIS will record tremors triggered by tectonic activity and meteorite impacts. Radiowaves will accurately measure the rotation of the planet using the RISE experiment evaluating the radio traffic to and from Earth. Other sensors measure air temperature and pressure, wind speed and the strength of the magnetic field. A radiometer for measuring the thermal radiation supplements the data of heat-flow probe.



Am Ende des kritischen, etwa siebenminütigen Landevorgangs wird *InSight* nach dem Abtrennen eines Überschall-Bremsfallschirms von autonom gesteuerten Triebwerke gebremst auf dem Mars aufsetzen.

At the end of the critical landing process, lasting approximately seven-minutes, *InSight* will be decelerated – after separation of a supersonic parachute – by autonomously controlled retro-rockets.

Bild: NASA/JPL-Caltech

# Landeplattform, Bordsysteme und Kommunikation

## Lander Platform, on-Board Systems and Communications

Die auf drei Teleskopbeinen ruhende Plattform der Landesonde ist Hauptteil der *InSight*-Mission. Sie führt nicht nur alle Aktivitäten auf dem Mars aus, sondern steuerte schon zuvor die Funktionen der drei sekundären Elemente des Flugsystems: Transferstufe, rückwärtige Abdeckung und vorderer Hitzeschild. Die Plattform hat einen Durchmesser von zwei Metern. Darauf sind die meisten Systemkomponenten, die Experimente in ihrem ‚Reisemodus‘, die Antennen, der Bordcomputer, die Bremstriebwerke, die Treibstofftanks und drei Teleskopbeine angebracht. Die Gesamtmasse von *InSight* beträgt 360 Kilogramm, davon entfallen 50 Kilogramm auf die wissenschaftlichen Experimente.

Nach der Landung befindet sich die Oberkante des Decks 83 bis 108 Zentimeter über dem Marsboden, abhängig davon, wie stark die Teleskopbeine bei der Landung gestaucht wurden. Die Betriebsphase beginnt sofort nach dem Aufsetzen. Eine entscheidende Aktion wird das Auffächern der Solarpaneele eine Viertelstunde nach der Landung sein. Von deren Stromerzeugung ist der weitere Missionserfolg abhängig. Mit den ausgeklappten Solarpanelen hat *InSight* eine Spannweite von 610 Zentimetern. Zusammen liefern sie an einem klaren Tag 600 bis 700 Watt Leistung – das ist etwa so viel (oder wenig), wie für einen Haushaltsmixer benötigt wird. An Tagen mit Staub in der Atmosphäre oder auf den Solarpanelen fällt die Leistung auf 200 bis 300 Watt.

The lander's platform rests on three telescopic legs and forms the main part of the *InSight* mission. Not only will it control all of the activities carried out on Mars, but, prior to that, it will also control the three secondary elements of the flight system: the cruise stage, the back shell and the front heat shield. The platform measures two metres across. It contains most of the system components, the experiments in 'travel mode', the antennas, the on-board computer, the brake engines, the fuel tanks and three telescopic legs. *InSight* has a total mass of 360 kilograms, with the scientific experiments weighing 50 kilograms.

After landing, the upper edge of the deck will lie 83 to 108 centimetres above the Martian soil, depending on how strongly the telescopic legs have been compressed during the landing. The operational phase will begin immediately after touchdown. A crucial activity will be the deployment of the solar panels 15 minutes after the landing. The ongoing success of the mission depends on its ability to generate power. When its solar panels are unfolded, *InSight* has a span of 610 centimetres. Together, these panels can provide 600 to 700 watts on a clear day – approximately as much (or as little) as is needed to power a kitchen blender. On days when there is dust in the atmosphere or on the solar panels, the power output will drop to 200 to 300 watts.

### Daten zur Mission

Start	5. Mai 2018
Landung	26. Nov. 2018 ca. 21 Uhr MEZ
Landestelle	4,5°N, 135,9°O, Elysium Planitia
Trägerrakete	Atlas V-401 (AV-078)
Startgewicht	333 t
Oberstufe	Centaur
Masse InSight (mit Transferstufe)	360 kg (727 kg)
Wissenschaftliche Nutzlast	50 kg

### Mission details

Launch	5 May 2018
Landing	26 November 2018 approx. 21:00 CET
Landing site	4.5°N, 135.9°O, Elysium Planitia
Launch vehicle	Atlas V-401 (AV-078)
Launch weight	333 t
Upper stage	Centaur
InSight mass (with cruise stage)	360 kg (727 kg)
Scientific payload	50 kg

Der *InSight*-Bremsfallschirm öffnet sich bei der Überschallgeschwindigkeit von 1500 Kilometern pro Stunde. Die Anfangsbelastung beträgt 55.600 Newton. Der Fallschirm wird 1200 Meter über Grund abgetrennt.

The *InSight* brake parachute opens at a supersonic speed of 1500 kilometres per hour. The initial load is 55,600 Newton. The parachute separates from the landing craft 1200 metres above ground.



Bild / Image: NASA/JPL-Caltech/Lockheed Martin

Eine Kamera auf dem Landedeck (Instrument Context Camera; ICC; Blickwinkel 120°), und eine Kamera am Roboterarm (Instrument Deployment Camera; IDC; Blickwinkel 45°), liefern Farbbilder mit 1024 Pixel mal 1024 Pixeln. Der bewegliche Roboterarm (Instrument Deployment Arm; IDA) auf der Plattform wird einige Wochen nach der Landung die Experimente HP<sup>3</sup> und SEIS von der Plattform auf den Marsboden heben. Er enthält einen Greifmechanismus und fünf mechanische ‚Finger‘, die sich schließen, um die drei Komponenten, die von der Plattform auf den Boden gebracht werden müssen, an Kontaktstellen anheben können. Der Arm ist 2,4 Meter lang und hat drei Gelenke sowie vier Motoren. Die am Arm befestigte Kamera befindet sich zwischen ‚Ellbogen‘ und ‚Handgelenk‘. Das Landemodul wird so ausgerichtet sein, dass sich das Arbeitsfeld der Mission in Reichweite des Roboterarms auf der Südseite des Landers befindet. Da die Landestelle nördlich des Äquators liegt, wird dadurch verhindert, dass ein Schatten des Landers auf die eingesetzten Instrumente fällt.

Die Mission soll bis zum 24. November 2020 auf der Oberfläche arbeiten. Zunächst wird die Umgebung genau kartiert und vermessen, um den idealen Standplatz für die Instrumente SEIS und HP<sup>3</sup> zu finden. Das kann bis zu zehn Wochen dauern. Wenn HP<sup>3</sup> und SEIS auf dem Grund stehen und mit den Messungen beginnen, wird der Instrumentenarm im weiteren Missionsverlauf zumeist unbeweglich bleiben. Die aufgezeichneten Messdaten werden zu den NASA-Sonden *Mars Reconnaissance Orbiter* und *Mars Odyssey 2001* übertragen, die zweimal pro Mars-Tag die Landestelle überfliegen. *InSight* wird sowohl X-Band- als auch UHF-Kommunikation (Ultra High Frequency) verwenden. Der *MAVEN*-Orbiter der NASA sowie der *Trace Gas Orbiter* und *Mars Express* der Europäischen Weltraumorganisation ESA können als Ersatz-Übertragungssatelliten für *InSight* dienen.

Das *InSight*-System für das Kommando- und Datenhandling verfügt über zwei baugleiche Computer, von denen einer immer aktiv und der andere als Backup verfügbar ist. Das Herzstück des Computers ist ein strahlungsgehärteter Zentralprozessor mit PowerPC 750-Architektur mit der Bezeichnung RAD 750. Dieser Prozessor ist mit einer Geschwindigkeit von 115,5 Megahertz getaktet im Vergleich zu einer Geschwindigkeit von 20 Megahertz des auf *Phoenix* verwendeten RAD 6000-Prozessors.

A camera on the lander deck (Instrument Context Camera; ICC; 120° field of view) and a camera on the robotic arm (Instrument Deployment Camera; IDC; 45° field of view) will provide 1024 by 1024 pixel colour images. A few weeks after landing the moving robotic arm (Instrument Deployment Arm; IDA) will lift HP<sup>3</sup> and SEIS off the platform and place them on the ground. It comprises a gripper mechanism and five mechanical ‘fingers’ that open and close in order to lift the three components that need to be transferred from the platform to the ground using dedicated contact points. The arm is 2.4 metres long and has three joints and four motors. The camera is attached to the arm between the ‘elbow’ and ‘wrist’. The *InSight* lander will be oriented so that the working area for the mission is within reach of the robotic arm, on the south side of the lander. The landing site lies north of the equator, thus preventing the lander from casting a shadow on the instruments in use.

The mission will work on the surface until 24 November 2020. At the outset, the lander’s surroundings will be precisely mapped and surveyed to find the ideal location for SEIS and HP<sup>3</sup>. Their placement may take up to 10 weeks. Once HP<sup>3</sup> and SEIS are on the ground and have begun recording data, the instrument arm will mostly remain motionless for the rest of the mission, while the recorded data will be transmitted to NASA’s *Mars Reconnaissance Orbiter* and *Mars Odyssey 2001*, which will fly over the landing site twice per day. *InSight* will use both X-band and UHF (ultra-high frequency) communications. NASA’s *MAVEN* orbiter or the European Space Agency’s *Trace Gas Orbiter* and *Mars Express* could serve as alternative transmission satellites for *InSight*.

The *InSight* command and data handling system has two redundant computers, one of which is active at all times and the other available as backup. The computer’s core is a radiation-hardened central processor with PowerPC 750 architecture called RAD 750. This processor operates at 115.5 megahertz speed, compared with the 20 megahertz speed of the RAD 6000 processor used on *Phoenix*.



Die Landung von *InSight* erfolgt vollautomatisch: (a) Ankunft am Mars; (b) Abtrennen der Transferstufe; (c) In der oberen Marsatmosphäre erhitzt sich der Hitzeschutzschild auf 1500 Grad Celsius; (d) In 12 Kilometer Höhe wird der Bremsfallschirm ausgelöst und (e) in 1200 Meter Höhe wieder abgetrennt; (f) Triebwerke bremsen den letzten Kilometer des Abstiegs.

The landing of *InSight* occurs fully automatically: (a) arrival at Mars; (b) cruise stage separation; (c) in the upper Martian atmosphere, the heat shield reaches temperature up to 1500 degrees Celsius; (d) at an altitude of 12 kilometres, the brake parachute is deployed and (e) disconnected again at 1200 metres above ground; (f) descent engines provide control during the last kilometre of landing.

# Das Experiment HP<sup>3</sup>

## The HP<sup>3</sup> Experiment

Mit dem Experimentpaket HP<sup>3</sup> (**H**eat **F**low and **P**hysical **P**roperties **P**ackage) wird der Wärmefluss aus dem Inneren des Planeten an die Oberfläche gemessen. Dazu misst HP<sup>3</sup> den Anstieg der Temperatur mit zunehmender Tiefe. Die Wissenschaftler bezeichnen dies als geothermische Tiefenstufe. Während der Wochen und Monate, die das Experiment in die Tiefe vordringt, wird außerdem die Wärmeleitfähigkeit des sandigen Bodens gemessen. Die Wärmeleitfähigkeit bestimmt das Vermögen des Bodens, Wärme zu transportieren. Multipliziert man die beiden Größen – geothermische Tiefenstufe und Wärmeleitfähigkeit – miteinander, erhält man den Wärmefluss, also die Energiemenge, die pro Zeit- und Flächeneinheit zur Oberfläche fließt und dort an die Atmosphäre abgegeben wird. Überlagert wird die Messung der geothermischen Tiefenstufe durch Wärmewellen, die von regelmäßigen Temperaturschwankungen an der Oberfläche (Tagesgang, Jahreszeiten) verursacht werden und unterschiedlich tief in den Boden eindringen.

Auf der Erde hat man die geothermische Tiefenstufe an sehr vielen Stellen und mehrere Kilometer tief gemessen. Wir kennen geothermische Tiefenstufen aus Bergwerken, in denen es in den Stollen mit zunehmender Tiefe immer wärmer wird, oder aus der Geothermie, bei der beispielsweise in der Tiefe erhitztes Wasser verschiedene Anwendungen findet. Im Durchschnitt nimmt auf der Erde die Temperatur um drei Grad pro hundert Meter Tiefe zu. Auf dem Mars sind Messungen an vielen unterschiedlichen Stellen wegen des enormen Aufwands an Technik und damit an Geldmitteln nicht möglich.

Das am DLR entwickelte Experiment HP<sup>3</sup> besteht aus einem Gehäuse, in dem das Mess- und das Datenkabel für die Verbindung mit der Landesonde untergebracht sind. Vorn ist ein ‚Bohrturm‘ angebracht, in dem sich der Schlaghammer vor seinen Einsatz befindet. Die 40 Zentimeter lange Rammsonde mit einem Durchmesser von 27 Millimetern, der ‚Maulwurf‘, kann sich mit einem Hammerschlagmechanismus bis zu fünf Meter tief in den Marsboden treiben.

The **H**eat **F**low and **P**hysical **P**roperties **P**ackage (HP<sup>3</sup>) measures the heat flow from the interior of the planet to the surface. Required are the rise in temperature with increasing depth, called the geothermal gradient. In addition, the thermal conductivity of the soil has to be measured in the weeks and months during which the experiment penetrates into the subsurface. Thermal conductivity determines the ability to transport heat. Multiplying the two quantities – geothermal gradient by thermal conductivity – yields the heat flow, or the amount of energy that flows to the surface per unit of time and per unit area and which is released into the atmosphere. The measurement of the geothermal gradient is affected by heat waves caused by regular temperature fluctuations at the surface (daily variation, seasons) that penetrate to different depths in the soil.

On Earth, the geothermal gradient has been measured in many places and at depths of several kilometres. We know of geothermal gradients from mines, where the temperature in the mines increases with increasing depth, or from geothermal energy, where, for example, water heated at depths has various applications. On average, Earth's temperature increases by three degrees per 100 metres of depth. On Mars, it is not possible to take measurements at several different locations due to the amount of technology and associated costs involved.

The HP<sup>3</sup> experiment developed at DLR consists of a casing that holds the measuring and data cables needed to connect to the landing probe. A 'drilling tower' with the mole penetrometer is located at the front. The 40 centimetres long and 27 millimetre diameter 'mole' can proceed to a depth of up to five meters into the Martian soil using a hammering mechanism.



Die ‚Sphinx‘ und der ‚Maulwurf‘ sind durch ein Flachband-Messkabel miteinander verbunden, das aus der unteren Kammer des HP<sup>3</sup>-Instruments hinter dem Hammerschlagmechanismus hergezogen wird. In der oberen Kammer befindet sich das Datenkabel, das mit der *InSight*-Plattform verbunden ist.

The 'Sphinx' and the 'mole' are interconnected by a tether, a measuring cable pulled out of the lower chamber of the HP<sup>3</sup> instrument following the hammering mechanism. The upper chamber contains a tether connecting to the *InSight* platform.

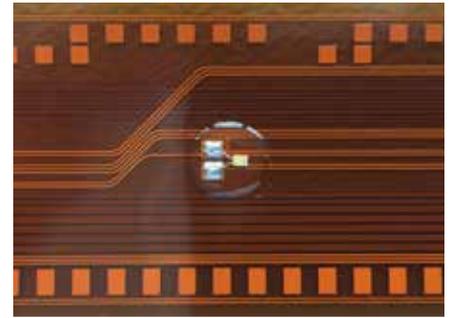
Herzstück des Experiments von HP<sup>3</sup> ist ein hinter der Rammsonde in den Boden gezogenes und mit Temperatursensoren bestücktes Messkabel, das mit dem Gehäuse auf der Oberfläche verbunden ist. Dessen Platin-Temperatursensoren werden ein Marsjahr lang Messwerte im Abstand von 35 Zentimetern Bodentiefe bis aus fünf Meter Tiefe aufzeichnen. Die Messgenauigkeit der Sensoren beträgt wenige Tausendstel Grad. Das ‚Gehirn‘ des Experiments, eine Elektronikbox, befindet sich im *InSight*-Landemodul, wo sie vor zu großen Temperaturschwankungen geschützt ist. Über die Elektronikbox wird das Experiment von der Boden-Kontrollstation des DLR in Köln gesteuert.

Zum Experiment gehört außerdem das Infrarot-Radiometer RAD, das von der Landesonden-Plattform aus den täglichen Temperaturverlauf der Oberfläche im Verlauf des Marsjahres an der Landestelle misst. RAD ermittelt dazu die infrarote Abstrahlung vom Boden und damit seine Strahlungstemperatur, die man in erster Näherung mit der Temperatur der Oberfläche gleichsetzen darf. Dies ist wichtig für die Interpretation der Temperaturmessungen in der Tiefe, da damit der Gang der Oberflächentemperatur aufgezeichnet werden kann. Darüber hinaus misst RAD die sogenannte thermische Trägheit der Marsoberfläche, die Aufschlüsse über die Beschaffenheit der obersten Zentimeter des Marsbodens gibt. RAD ist unter der Plattform der Landesonde montiert und blickt auf die den ausgebrachten Instrumenten gegenüberliegende Seite des Landers, damit die Messungen nicht vom Schattenwurf der beiden auf dem Boden stehenden Instrumenten beeinträchtigt wird.

HP<sup>3</sup> ist zunächst auf dem Deck des Landers montiert und verbleibt dort nach der Landung bis zum Aussetzen des Instruments im Januar 2019. In dieser Zeit wird mit Hilfe der Kameras und des HP<sup>3</sup>-Radiometers die Landestelle erkundet und der geeignetste Platz zur Aufstellen des Seismometers und der Wärmeflusssonde gesucht. Bei der Suche wird es darauf ankommen, Steine zu vermeiden und HP<sup>3</sup> möglichst eben platziert zu können. Nach der Aussetzung des Instruments beginnt das schrittweise Eindringen in den Boden.

Idealerweise hat der Schlagmechanismus nach etwa zwei Monaten eine Tiefe von fünf Metern erreicht. Ein Neigungsmesser registriert, ob die Bohrung vertikal in den Boden verläuft oder wegen Hindernissen von der Senkrechten abweicht. Der Maulwurf hämmert jedoch nicht ununterbrochen, sondern insgesamt nur etwa zehn Tage und wird in Intervallen von 50 Zentimetern in den Boden eindringen. Nach zweitägigen Abkühlungspausen wird der Bohrfortschritt ausgewertet und anschließend die Außenhülle des Maulwurfs 24 Stunden lang von einer Heizung im Innern erwärmt. Dann wird gemessen, wie schnell diese Wärme vom Metall des ‚Maulwurfs‘ in die unmittelbare Bohrumgebung abgegeben wird: Damit kann die Wärmeleitfähigkeit des Marsbodens an der Landestelle bestimmt werden. Dieser Zyklus wird wiederholt, bis die Zieltiefe erreicht ist. Ab diesem Moment startet die Langzeitmessung der Temperatur zur Ermittlung der geothermischen Tiefenstufe. In dieser Konstellation und unter der Voraussetzung, dass die Temperaturunterschiede zwischen den Sensoren auf 0,5 Prozent genau gemessen werden können, gleichzeitig die Tiefenunterschiede auf ein Prozent bestimmt werden können und der Fehler der Wärmeleitfähigkeitsmessung 2,5 Prozent beträgt, ergibt sich eine Unsicherheit im Wärmefluss von weniger als  $\pm 2$  Milliwatt pro Quadratmeter.

Die wissenschaftliche Leitung für HP<sup>3</sup> liegt beim DLR-Institut für Planetenforschung, wo das Experiment auch federführend entwickelt wurde, in Zusammenarbeit mit den DLR-Instituten für Raumfahrtsysteme, Optische Sensorsysteme, Raumflugbetrieb und Astronautentraining, Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Systemdynamik und Regelungstechnik sowie Robotik und Mechatronik. Daneben sind beteiligte industrielle Partner: Astronika und CBK Space Research Centre, Magson, Sonaca, das Leibniz-Institut für Photonische Technologien sowie die Astro- und Feinwerktechnik Adlershof GmbH. Wissenschaftliche Partner sind das ÖAW Institut für Weltraumforschung und die Universität Kaiserslautern. Der Betrieb von HP<sup>3</sup> erfolgt durch das Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (MUSC) des DLR in Köln.



Die Sensoren (Bildmitte) auf dem 36 Millimeter breiten Temperaturmesskabel messen die Temperatur mit einer Genauigkeit von einem Tausendstel Grad.

The sensors (centre of the image) on the 36-millimetres wide temperature-measuring tether detect the temperature with an accuracy of one thousandth of a degree.

Der Elektromotor in der Mitte der Rammsonde (blau) spannt über einen Drehmechanismus (grün und braun) die Hauptfeder nahe der Spitze (grau), an der der Hammer (lila) befestigt ist. Nach einer Drehung wird die Feder ausgelöst und der Hammer nach vorne beschleunigt.

The electric motor in the centre of the hammering probe (blue) compresses via a cylindrical mechanism (green and brown) the main spring near the top (grey), to which the hammer (purple) is attached. After a rotation, the spring is released and the hammer accelerates forward.

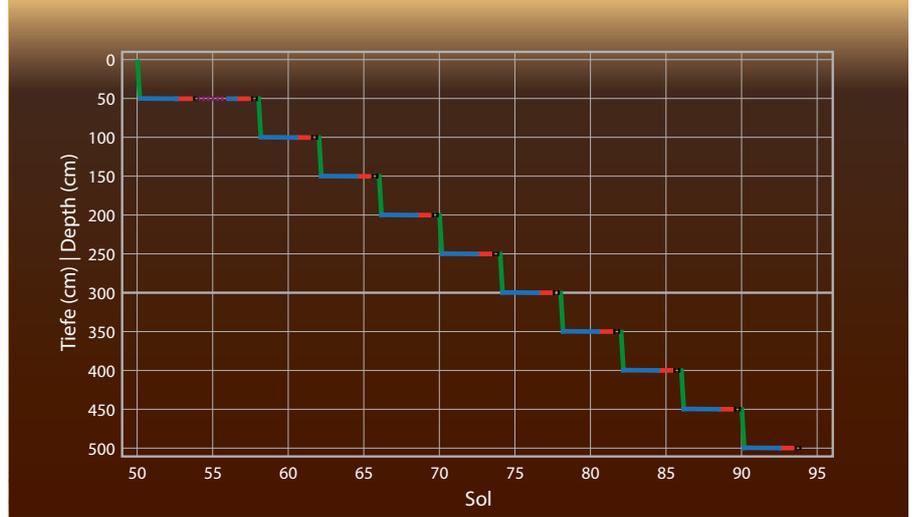


Bestandteil des HP<sup>3</sup>-Experiments ist das Radiometer RAD. Es misst vom Instrumentendeck die Strahlung der Oberfläche, die in etwa der Oberflächentemperatur entspricht.

The HP<sup>3</sup> experiment has a radiometer RAD. Located on *InSight*'s deck, it measures the radiation of the surface, which roughly corresponds to the surface temperature.

Das Eindringen von HP<sup>3</sup> in den Marsboden (grün). Mit ‚Sol‘ werden die Tage auf dem Mars bezeichnet. Nach jeder Hammerphase folgt eine mehrtägige Abkühlphase (blau), gefolgt von einer Beheizung des ‚Maulwurfs‘ (rot) und nachfolgender Messung der Wärmeleitfähigkeit des Umgebungsmaterials.

Penetration progress of HP<sup>3</sup> into the Martian ground (green). A ‚Sol‘ is a Martian day. Each hammering phase is followed by a cooling phase lasting several days (blue), followed again by heating of the ‚mole‘ (red) and subsequent measurement of the thermal conductivity of the surrounding material.



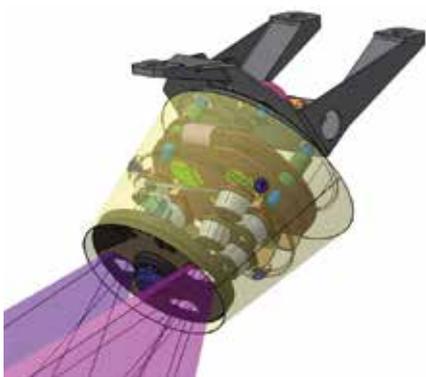
The heart of the HP<sup>3</sup> experiment is a science tether connected to the casing on the surface and equipped with temperature sensors, which the ‚mole‘ pulls into the ground. Over the course of a Mars year, its platinum temperature sensors will measure the temperature every 35 centimetres to a depth of five metres. The measuring accuracy of the sensors is a thousandth of a degree. The ‚brain‘ of the experiment is an electronics box located inside the *InSight* landing module, where it is protected from excessive temperature fluctuations. The experiment is operated from the DLR ground control station in Cologne via the electronics box.

The experiment also features a deck-mounted infrared radiometer, which measures the surface temperature variation during the Martian year at the landing site. RAD determines the infrared radiation from the ground and thus its radiation temperature, which approximately equals the temperature of the surface. This is important for the interpretation of the temperature measurements at depth, as it records changes in the surface temperature. In addition, RAD measures the so-called thermal inertia of the surface of Mars, which provides information about the composition and micro-structure of the uppermost centimetres of the Martian surface. The radiometer views the surface away from where SEIS and HP<sup>3</sup> are located so that the measurement will not be disturbed by the shadow casted by the instruments on the ground.

HP<sup>3</sup> is mounted on the lander’s deck and will remain there until the instrument is deployed in January 2019. During this time, the cameras and HP<sup>3</sup> radiometer will explore the landing site and find the most suitable locations for the seismometer and heat flow probe. For the selection, it will be important to avoid rocks and slopes such that HP<sup>3</sup> is set up as evenly on the surface as possible and to avoid rocks blocking penetration.

The mole will ideally have reached a depth of five metres after about two months. A tiltmeter will detect whether the borehole is running vertically into the ground or is deviating from a vertical path due. But the mole will not hammer continuously; it will do so for about a total of ten days, penetrating the soil in 50-centimetre steps. After two-day cooling breaks, the progress of the drilling will be evaluated before an internal heater warms the outer shell of the mole for 24 hours. Then, measurements will be made to determine how fast the heat from the metal hull of the mole is released into the immediate environment around the drill. This will allow the thermal conductivity of the Martian soil to be determined at the landing site. The long-term measurement of the temperature to determine the geothermal gradient will then begin. With this constellation and assuming that the temperature differences between the sensors can be measured to an accuracy of 0.5 percent, that the depth differences can be determined to one percent, and that the error in the thermal conductivity measurement is 2.5 percent, the uncertainty in the heat flow should be less than  $\pm 2$  milliwatts per square metre.

The HP<sup>3</sup> experiment has been developed by DLR’s Institute of Planetary Research, in collaboration with the DLR institutes of Space Systems, Optical Sensor Systems, Space Operations and Astronaut Training, Composite Structures and Adaptive Systems, System Dynamics and Control, and Robotics and Mechatronics, is leading the experiment. The industry partners Astronika, CBK Space Research Centre, Magson, Sonaca, the Leibniz-Institute for Photonic Technology and Astro- und Feinwerktechnik Adlershof GmbH are also involved. The Space Research Institute at the Austrian Academy of Science and the University of Kaiserslautern are scientific partners for the project. HP<sup>3</sup> is operated by the DLR Microgravity User Support Centre (MUSC) in Cologne.



Das Radiometer RAD misst mit drei mal zwei Sensoren (graue Zylinder mit schwarzer Kappe) die Temperatur in drei Spektralbereichen in zwei Gesichtsfeldern, die durch die violetten Strahlungskegel angedeutet sind.

The RAD radiometer will use three times two sensors (grey cylinders with black caps) to measure the temperature in three spectral ranges in two fields of view, which are indicated by the violet radiation cone.

# Das Seismometer SEIS

## The SEIS Seismometer

Bei der Erde und Mond, und wahrscheinlich auch auf dem Mars, kommt es tief im Inneren und nah an der Oberfläche zu mechanischen Spannungen, die sich in kleinen oder größeren Beben entladen. Die Wellen, die solche Erschütterungen auslösen, können von Seismometern gemessen werden. Auch Einschläge von Asteroiden bewirken Erschütterungen, die sich als seismische Wellen durch den Himmelskörper bewegen und an Schichtgrenzen reflektiert oder gebrochen werden. Die Analyse dieser aufgezeichneten Bebenwellen gestattet Rückschlüsse auf die Häufigkeit von Beben und Einschlägen, den inneren Aufbau und den Zustand des Inneren dieser planetaren Körper.

Das Seismometer-Experiment SEIS besteht aus insgesamt sechs seismischen Sensoren. Diese zeichnen die Schwingungen des Marsbodens jeweils in den drei Raumrichtungen und in zwei verschiedenen Frequenzbereichen auf: Zum einen im tieferen Frequenzbereich VBB (Very Broad Band) von 0,01 bis 10 Hertz und ferner mit einem kurzperiodischen Dreikomponenten-Mikrosensor (short period micro-sensor, SP) im Frequenzbereich von 0,1 bis 50 Hertz. Die Überlapung der beiden Frequenzbereiche erlaubt eine rechnerische Kombination zu einem einzigen extrem breitbandigen Seismometer.

On the Earth and the Moon, and probably also on Mars, mechanical stress builds up both deep inside and close to the surface and is released via quakes. The waves that cause such shocks can be measured by seismometers. Meteorite impacts also cause vibrations, which move through the planetary body as seismic waves, and are reflected or refracted at stratigraphic boundaries. The analysis of these recorded waves makes it possible to draw conclusions about the frequency of quakes and impacts, the interior structure and the state of the interior of these planetary bodies.

The Seismic Experiment for Interior Structure (SEIS) seismometer consists of a total of six seismic sensors that record the vibrations of the Martian soil in three directions in space and at two different frequency ranges: Very Broad Band (VBB), covering 0.01–10 Hertz and Short Period (SP) covering 0.1–50 Hertz. The overlap of the two frequency ranges allows them to be mathematically combined into a single extremely broadband seismometer.

Schnittbild durch SEIS. Von außen nach innen: Wind- und Kälteschutzschild, innerer Kälteschutz, darunter das dreibeinige Horizontierungssystem mit dem Vakuumbehälter, welcher die drei Pendel des VBB enthält.

Cutout of SEIS. From the outside inward: Wind and thermal shield, inner thermal shield, then the three-legged leveling system supporting the evacuated container with the three pendulums of VBB.

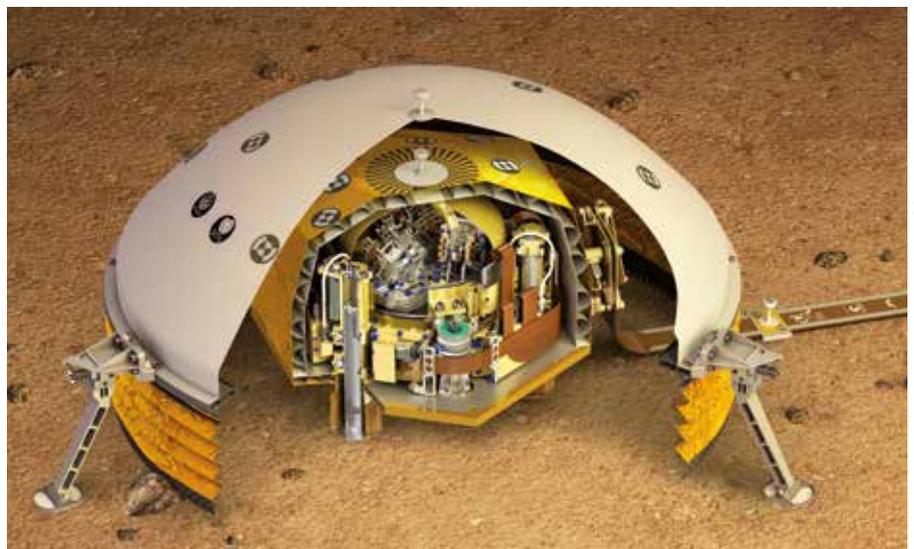
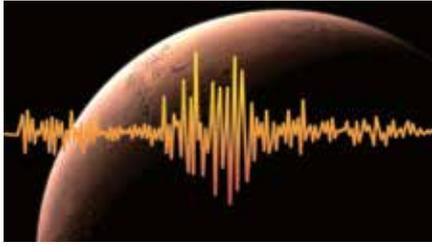


Bild / Image: IPGP/D. Ducros



Seismische Wellen können von Marsbeben, aber auch von Meteoriteneinschlägen herrühren.

Seismic waves can be triggered by Marsquakes, as well as by meteorite impacts.

Dabei sind die drei für die niedrigen Frequenzen empfindlichen Sensoren in einem Vakuumbehälter untergebracht, da selbst der Luftwiderstand der dünnen Marsatmosphäre die Bewegung der Sensoren zu stark dämpfen und die Empfindlichkeit reduzieren würde. Dieses Gehäuse ist in ein Nivellierungssystem (Leveling System, LVL) eingebaut, welches sich mit drei Teleskopbeinen exakt waagrecht ausrichtet, damit die VBB-Sensoren optimal funktionieren. Die drei Sensoren für den höheren Frequenzbereich sind außen am Nivellierungssystem montiert. Um das Seismometer vor Wind und starken Temperaturschwankungen zu schützen, wird eine Schutzglocke (Wind and Thermal Shield, WTS) darüber platziert.

Nach der Auswahl des idealen Standplatzes setzt der robotische Arm das Seismometer aus, und sein Platz wird nochmals kontrolliert und dokumentiert, bevor die Schutzhaube darüber gestülpt wird. Die Arbeiten zum Aufbau des Seismometers sollen bis zum 5. Januar 2019 abgeschlossen sein.

Die Komponenten von SEIS wurden von Institutionen aus mehreren Ländern bereitgestellt: die tieffrequenten VBB-Sensoren stammen vom Institute du Physique du Globe de Paris, die hochfrequenten SP-Sensoren vom Imperial College in London, die Elektronik der Steuerung wurde von der Eidgenössischen Technischen Hochschule der Schweiz in Zürich bereitgestellt. Der Vakuumbehälter, das WTS und das Verbindungskabel mit fast 300 Adern für Stromversorgung und Datenübertragung zum Lander kommen vom Jet Propulsion Laboratory (JPL) aus Pasadena in den USA. Das Nivellierungssystem schließlich wurde vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Göttingen entwickelt und gebaut. Bau und Betrieb des Instruments wird von der französischen Raumfahrtbehörde CNES koordiniert.

Die wissenschaftlichen Daten werden durch ein internationales Team mit Mitgliedern aus den genannten und weiteren Ländern ausgewertet. Das DLR beteiligt sich hier vor dem Hintergrund seiner Seismizitätsmodelle mit einer statistischen Auswertung der Häufigkeit und Stärke von Marsbeben.



Auf der Oberfläche des Mars gibt es zahlreiche Spuren von Tektonik wie beispielsweise Scharen von Dehnungsbrüchen in den Vulkanprovinzen. Unklar ist, wie stark ausgeprägt die tektonischer Aktivität heute noch ist.

On the surface of Mars there are numerous traces of tectonics, such as swarms of stress fractures in the volcanic provinces. It is unclear how strong the tectonic activity is today.

The three sensors that are sensitive to low frequencies (VBB) are housed in an evacuated container, as the air resistance of even the thin Martian atmosphere would dampen the movement of the sensors too much. This container rests on a levelling system (LVL) with three telescopic legs to ensure that the casing is precisely horizontally aligned, so that the VBB sensors work optimally. The three sensors for the higher frequency range (SP) are mounted on the outside of the LVL. In order to protect the seismometer against wind and strong temperature fluctuations, a protective dome (Wind and Thermal Shield, WTS) is placed over it.

Once the ideal position has been selected, the robotic arm lifts out and installs the seismometer, with the location checked and recorded once more before the protective dome is placed on top of it. Work on the installation of the seismometer should be complete by 5 January 2019.

The components of SEIS have been provided by institutions from several countries: The low-frequency VBB sensors are from the Institute du Physique du Globe in France, the high-frequency SP sensors are from Imperial College in the United Kingdom, and the control electronics were made at the Swiss Federal Institute of Technology in Zurich (Eidgenössische Technische Hochschule; ETH). The vacuum container, the WTS and the connecting cable, with almost 300 wires for electrical supply and data transmission to the lander, come from the Jet Propulsion Laboratory (JPL) in the USA. Finally, the levelling system was developed and built by the Max Planck Institute for Solar System Research in Göttingen, Germany. The french space agency CNES has managed the building and operation of the instrument.

An international team comprising members from these and other countries will evaluate the scientific data. DLR has participated in this project through its seismic models, which provide a statistical evaluation of the frequency and strength of marsquakes.

# Minisatelliten, Neigungsmesser und Laserreflektoren

## Mini Satellites, Inclinometers, and Laser Reflectors

Eine Neuheit bei dieser Mission sind die zwei Kleinsatelliten *MarCO* (*Mars Cube One*), die auf dem CubeSat-Konzept beruhen, bei dem würfelförmige Module mit 10 Zentimeter Kantenlänge zu größeren Satelliten kombiniert werden. Jeder der beiden *MarCO*s besteht aus sechs CubeSat Einheiten. Sie wurden nach dem Verlassen der Erde von *InSight* abgetrennt und begleiteten die Sonde auf einer eigenen Flugbahn zum Mars. Dort treten sie in eine Umlaufbahn ein. Sie haben die Aufgabe, während des Anflugs und der Landung von *InSight*, der mithin kritischsten Missionsphase, die Kommunikation zwischen *InSight* und dem *Mars Reconnaissance Orbiter* der NASA über dem Eintrittsgebiet zu unterstützen. Zum ersten Mal, kommen damit Kleinsatelliten an einem anderen Himmelskörper zum Einsatz. Das Projekt stellt eine Technologie-Demonstration dar. Beide *MarCO*-Kleinsatelliten haben eine Weitwinkel- und eine Telekamera.

Zwei der drei Hauptexperimente von *InSight*, HP<sup>3</sup> und SEIS, werden auf dem Boden abgesetzt, weitere Messungen erfolgen vom Instrumentendeck aus. Das Experiment RISE (Rotation and Interior Structure Experiment) des Jet Propulsion Laboratory der NASA zeichnet die Frequenzverschiebung des Funkverkehrs in den Wellenlängen des X-Bandes (Mikrowellen, 7-11 Gigahertz) auf, um minimale Schwankungen der Neigung der Rotationsachse des Mars zu messen, die wiederum auf Dichteunterschiede im Inneren des Planeten und auf Abweichungen von der Kugelform hinweisen. Das Experiment soll die Daten der *Viking*-Landesonden aus den 1970er-Jahren so wie der Mission *Mars Pathfinder* (1997) ergänzen. Damals konnten wesentliche Hinweise auf die Größe des Kerns im Mars gewonnen werden. Der nun ergänzte Datensatz soll die Nutation der Marsachse besser beschreiben, also das ‚Taumeln‘ der Drehachse durch die von der Rotationssymmetrie abweichende Massenverteilungen im Innern des Planeten. Die Nutation ist der Präzession überlagert, einer durch die Schwerkraft insbesondere der Sonne und des Jupiters verursachten Kreisbewegung der Drehachse. Die Nutation prägt dieser eine kleine ‚Schlangenlinie‘ auf.

Mit weiteren Sensoren auf dem Instrumentendeck, dem APSS (Auxiliary Payload Sensor Subsystem), werden das lokale Magnetfeld, der Wind sowie Temperatur und Luftdruck gemessen. Ihre Hauptaufgabe besteht im Sammeln von unterstützenden Messungen zur besseren Interpretation der Seismometerdaten. Wind und Luftdruckänderungen, insbesondere ‚Staubteufel‘, können eigene Bodenbewegungen verursachen, welche das Seismometer aufzeichnen würde, während Änderungen des Magnetfeldes sich direkt auf elektronische Komponenten von SEIS auswirken und so Bodenbewegungen vortäuschen können.

Erstmals bei einer interplanetaren Mission werden im Rahmen der Mission *InSight* kleine „Cubesats“ eingesetzt: die beiden *MarCO*-Kleinsatelliten (*Mars Cube One*) wurden nach dem Verlassen der Erde von *InSight* abgetrennt. Sie begleiteten die Sonde auf einer eigenen, parallelen Flugbahn zum Mars.

Small 'cubesats' are being used on *InSight* for the first time in an interplanetary mission: the two *MarCO* small satellites (*Mars Cube One*). Upon leaving Earth orbit, they detached from the *InSight* spacecraft and accompanied the lander on its way to Mars, but following their own, parallel trajectories.

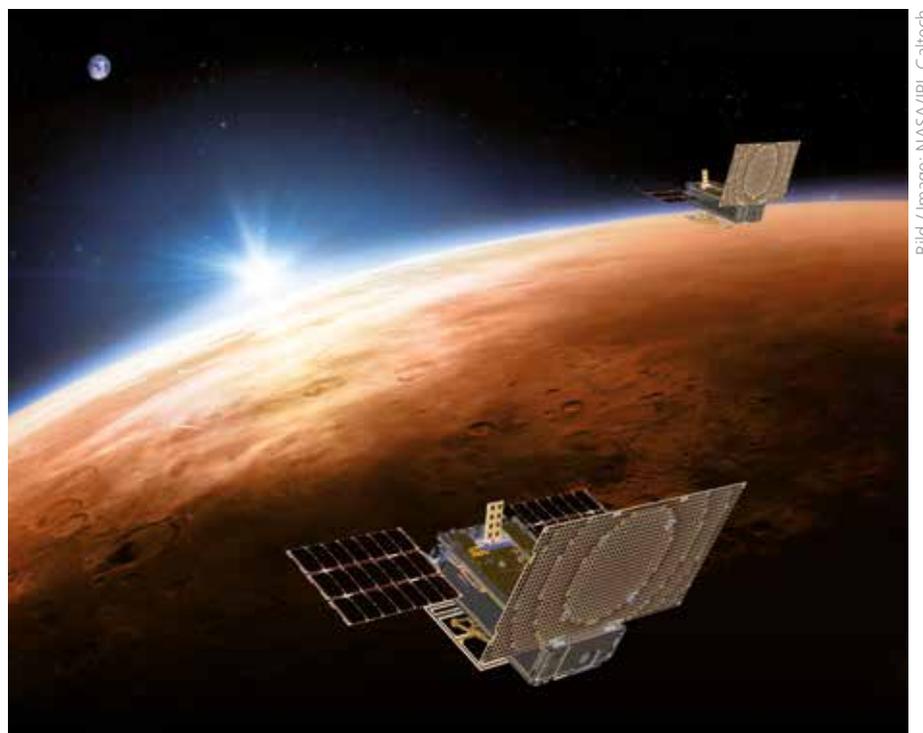


Bild / Image: NASA/JPL-Caltech



Auf der *InSight*-Plattform sind die Experimente, Subsysteme und Systemkomponenten angebracht: In der Bildmitte SEIS, rechts davon der Roboterarm und links von dessen unterem Ende HP<sup>3</sup>.

The *InSight* platform contains the experiments, subsystems and system components: SEIS in the middle of the picture, the robot arm to the right and HP<sup>3</sup> to the left of its lower end.

Auf dem Instrumentendeck befindet sich ein kuppelförmiges Gerät mit acht Laser-Retroreflektoren. ‚LaRRi‘, entwickelt von der italienischen Weltraumagentur ASI und nicht-wissenschaftlicher Teil der Nutzlast, hat einen potentiellen wissenschaftlichen Nutzen für eine zukünftige Mars-Orbiter-Mission mit einem Laser-Höhenmesser an Bord, mit dem dann der Landerstandort extrem genau vermessen werden könnte.

Eine Besonderheit sind zwei Siliziumchips mit den Namen von rund 2,4 Millionen Menschen aus aller Welt aus der Aktion ‚Senden Sie Ihren Namen zum Mars‘ vom August 2015 und 2017. Beide Chips befinden sich am Rand des Decks. Solche Aktivitäten gehören zu den vielen Angeboten der NASA für eine Teilhabe an der Erforschung des Mars.

One new feature of this mission is *Mars Cube One (MarCO)* – two small satellites. These are based on the CubeSat concept, in which cube-shaped modules with 10-centimetre-long sides are combined to form bigger satellites. Each of the two *MarCOs* consists of six CubeSat units. Upon leaving Earth orbit, they detached from the *InSight* spacecraft and have been accompanying the lander on its way to Mars, but following their own trajectories. On arrival, they will enter orbit around Mars. Their task is to support communications between *InSight* and NASA's *Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)* during *InSight's* arrival and landing – including the most critical phase of the mission (Entry, Descent and Landing; EDL) – while orbiting over the entry zone. This is the first time for small satellites to be used around another celestial body. The project has technology demonstrator status. The two *MarCO* small satellites have a wide-angle and a narrow-angle camera.

Two of the three main experiments of *InSight*, HP<sup>3</sup> and SEIS, will be placed on the ground, with further measurements made from the instrument deck. The RISE (Rotation and Interior Structure Experiment) experiment of NASA's Jet Propulsion Laboratory records shifts in the X-band radio frequencies (microwaves, 7–11 gigahertz) to measure tiny changes in the inclination of Mars' rotational axis, which in turn indicate density variations within the planet and variations from the spherical shape of the planet. The experiment will complement data recorded by the *Viking* landers in the 1970s and the *Mars Pathfinder* mission (1997), which provided important indications of the size of the Martian core. The extended data set will allow to better describing the nutation of the Mars axis, that is, the tumbling of the rotational axis due to mass distributions deviating from the rotational symmetry in the interior of the planet. The nutation is superimposed on the precession of the rotational axis caused by gravity, in particular Sun and Jupiter. The nutation superposes on this a little sinuous deviation.

With additional sensors on the instrument deck, the Auxiliary Payload Sensor Subsystem (APSS), the local magnetic field, the wind, the temperature and pressure of the atmosphere are measured. Their main task is to collect supporting measurements to better interpret the seismometer data. Wind and barometric pressure changes, particularly 'dust devils', can cause their own ground movements which the seismometer would record, while changes in the magnetic field can directly affect SEIS electronic components, pretending ground motion.

A dome-shaped device with an array of eight special reflectors is installed at the top of the lander's deck. The Laser Retroreflector for *InSight*, or LaRRi, was developed by the Italian Space Agency ASI and is a non-scientific part of the payload. It has potential scientific benefit for a future Mars orbiter mission with a laser altimeter on board, which could then be used to measure the lander's orbital location extremely accurately.

Another special feature on the lander deck is a pair of silicon chips with the names of approximately 2.4 million people from across the globe who participated in the 'Send your name to Mars' campaigns in August 2015 and 2017. These are some of many opportunities offered online for participation in Mars exploration.



Auf zwei Siliziumchips sind die Namen von rund 2,4 Millionen Menschen aus aller Welt verewigt und fliegen mit *InSight* zum Mars.

The names of about 2.4 million people from all over the world have been etched onto two silicon chips and are flying to Mars on board *InSight*.

# Marsforschung – ‚Folge dem Wasser!‘

## Mars Exploration – ‚Follow the Water!‘

*InSight* ist die vierte stationäre Landesonde auf dem Mars. Die beiden *Viking*-Lander – wie auch die beiden *Viking*-Orbiter – setzten zwischen 1976 und 1981 Maßstäbe in der Erforschung des Mars. Die *Phoenix*-Landesonde untersuchte 2008 die hohen nördlichen Breiten. Die erste mobile Landesonde war der kleine Rover *Sojourner* der Mission *Mars Pathfinder*, der 1997 vor den Mündungen der Täler Ares und Tiu Valles nach Spuren von Wasser suchte. Die Marsforschung erlitt auch dramatische Rückschläge mit gescheiterten Missionen, andererseits übertrafen die nach der Jahrhundertwende gestarteten Projekte alle Erwartungen.

Die Aufgaben und Fähigkeiten all dieser früheren Missionen orientierten sich neben anderen wissenschaftlichen Fragestellungen an der Maxime, nach den Spuren des früher vorhandenen Wasser zu suchen und damit die Möglichkeiten auszuloten, ob der Planet Leben beherbergte und vielleicht noch heute primitive Lebensformen auf ihm zu finden sein könnten. Die Entwicklung von Oberfläche und Atmosphäre eines Planeten sind aber immer auch zu einem großen Teil ein Spiegel der Bedingungen, die im Inneren herrschen. Aus diesem Grund gehen Forschungsaktivitäten von Raumsonden im Orbit, Rovern auf der Oberfläche und auch der geophysikalischen Station *InSight* Hand in Hand.

Die beiden Dauerläufer in der Marsumlaufbahn sind der 2001 gestartete NASA-Orbiter *Mars Odyssey 2001* und die erste ESA-Planetenmission *Mars Express*, die seit 2003 den Mars umkreist. Seit März 2006 untersucht der *Mars Reconnaissance Orbiter* der NASA den Planeten. Die beiden 185 Kilogramm schweren *Mars Exploration Rover Spirit* und *Opportunity* der NASA landeten im Januar 2004 auf gegenüberliegenden Hemisphären des Mars. Beide Fahrzeuge übertrafen die Erwartungen: Erst 2010 gab es keinen Kontakt mehr zu *Spirit*. *Opportunity* legte über 45 Kilometer zurück – ein Rekord außerhalb der Erde.

Mit der erfolgreichen Landung von *Curiosity* der Mission *Mars Science Laboratory* im August 2012 stieß die NASA in eine neue Dimension der Marsforschung vor. Der Rover in der Größe eines Kleinwagens und einer Masse von über 1000 Kilogramm führt das bisher umfangreichste Repertoire an Messinstrumenten und Kameras mit sich. Der 150 Kilometer große Krater Gale, erwies sich als gute Wahl: *Curiosity* („Neugierde“) bestätigte, dass das Kraterbecken einst ein großer See war, in dem alle wichtigen Stoffe vorhanden waren, die für das Entstehen und die Existenz von Leben notwendig sind.

Mit dem Projekt *ExoMars 2020* wird die ESA einen Rover mit vielseitigen Fähigkeiten zum Mars bringen, dessen Instrumente nach Spuren von Leben suchen sollen. Die hochauflösende Stereokamera auf dem Rover wurde vom DLR mit entwickelt. Bereits seit 2016 befindet sich der *Trace Gas Orbiter* des ExoMars-Programms zur Untersuchung der Marsatmosphäre in einer Umlaufbahn. *Mars 2020*, die nächste NASA-Mission, wird im Februar 2021 mit einem Rover landen und nach Mikroben oder ihren Spuren suchen. Dabei sollen Bohrkern gesammelt und versiegelt werden, damit eine spätere Mission sie aufgreifen und zur Erde bringen kann.

Seit August 2012 untersucht der NASA-Rover *Curiosity* den etwa 550 Kilometer südlich der *InSight*-Landestelle gelegenen Krater Gale.

NASA's *Curiosity* rover has been exploring Gale crater since August 2012. It is located about 550 kilometres south of the *InSight* landing site.



Bild / Image: NASA/JPL-Caltech/MSSS

Der 2016 gestartete *Trace Gas Orbiter* ist Bestandteil der ESA-Mission *ExoMars* und untersucht die Marsatmosphäre nach Spurengasen.

Launched in 2016, ESA's *ExoMars* mission *Trace Gas Orbiter* is investigating trace gases in the Martian atmosphere.

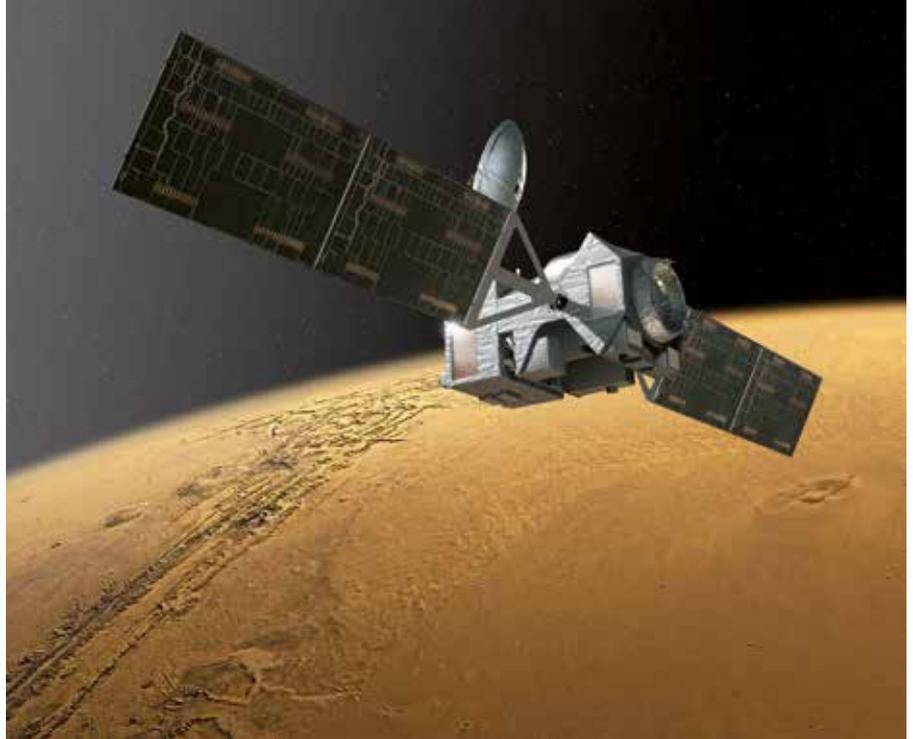


Bild / Image: ESA

*InSight* is the fourth stationary landing probe on Mars. The two *Viking* Landers – as well as the two *Viking* orbiters – set standards in the exploration of Mars between 1976 and 1981. In 2008, the *Phoenix* lander investigated the high northern latitudes. The first mobile landing probe was the *Mars Pathfinder Sojourner* rover. In 1997 it searched for traces of water at the mouths of the Ares and Tiu Valles valleys. While Mars research has suffered dramatic setbacks with failed missions, the projects launched after the turn of the century have exceeded all expectations.

The tasks and capabilities of all these earlier missions, along with other scientific questions, have been based on the maxim of searching for traces of the water that existed at some point in time and thus exploring the possibilities of whether the planet was home to life and whether primitive life forms can perhaps be found on it today. The evolution of the surface and atmosphere of a planet, though, to a large extent are always a mirror of the conditions prevailing in the planet's interior. For that reason the exploration activities of spacecraft in orbit, mobile rovers on the surface and the geophysical station *InSight* go hand in hand.

The two endurance runners in Mars orbit are NASA's *Mars Odyssey 2001*, launched in 2001, and ESA's first planetary mission *Mars Express*, which has been orbiting Mars since 2003. NASA's *Mars Reconnaissance Orbiter* has been studying the planet since March 2006. NASA's two vehicles with 185 kilograms of mass, *Mars Exploration Rovers Spirit* and *Opportunity*, landed on opposite hemispheres of Mars in January 2004. Both vehicles exceeded expectations and were in service much longer than the planned Martian year. In 2010, contact with *Spirit* was lost. *Opportunity* covered more than 45 kilometres – a record outside Earth.

NASA entered a new dimension of Mars research with the successful landing of the *Mars Science Laboratory Curiosity* in August 2012. The rover – the size of a small car – with a mass of more than 1000 kilograms, carries the most extensive repertoire of measuring instruments and cameras to date. The 150-kilometre diameter Gale crater proved to be a good landing site: *Curiosity* confirmed that the impact basin was once a large lake whose water had all the important substances considered fundamental to the formation and existence of life.

With the *ExoMars 2020* project, ESA will also be bringing a versatile rover to Mars, with a high-resolution stereo camera co-developed by DLR. Its instruments will search for traces of extant or extinct life. The *Trace Gas Orbiter* of the *ExoMars* programme has been orbiting Mars since 2016 to study the atmosphere. *Mars 2020*, NASA's next mission, will land on the Red Planet in February 2021 with a rover to search for microorganisms or their traces. The aim is to collect a sample cores and store them in tubes so that a later mission can pick them up and bring them back to Earth.

Bild / Image: ESA / ATG medialab



Europa wird 2020 im Rahmen der ESA-Mission *ExoMars* das mobile Forschungslabor *Pasteur* auf dem Mars absetzen. Wichtigstes Ziel ist die Suche nach Spuren von Leben.

Europe will deploy *Pasteur's* mobile research laboratory on Mars in 2020 as part of ESA's *ExoMars* mission. The most important goal is the search for traces of life.

## Das DLR im Überblick

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrtagentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 20 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Bremerhaven, Dresden, Göttingen, Hamburg, Jena, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Oldenburg, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

## DLR at a glance

The German Aerospace Center (DLR) is the national aeronautics and space research centre of the Federal Republic of Germany. Its extensive research and development work in aeronautics, space, energy, transport, security and digitalisation is integrated into national and international cooperative ventures. In addition to its own research, as Germany's space agency, DLR has been given responsibility by the federal government for the planning and implementation of the German space programme. DLR is also the umbrella organisation for the nation's largest project management agency.

DLR has approximately 8000 employees at 20 locations in Germany: Cologne (headquarters), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Bremerhaven, Dresden, Goettingen, Hamburg, Jena, Juelich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Oldenburg, Stade, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also has offices in Brussels, Paris, Tokyo and Washington D.C.

## Impressum | Imprint

Herausgeber | Publisher:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) | German Aerospace Center (DLR)

Organisationseinheit | Organisational unit

Institut für Planetenforschung | Institute of Planetary Research

Anschrift | Address:

Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin

Telefon + 49 30 67055-333

E-Mail [planetenforschung@dlr.de](mailto:planetenforschung@dlr.de)

## DLR.de

Bilder | Images DLR (CC-BY 3.0)

soweit nicht anders angegeben | unless otherwise stated.

Titelbild | Cover image: Modell des inneren Aufbau des Mars | Model of Mars' Interior | JPL/NASA



**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt**  
German Aerospace Center

Supported by:



on the basis of a decision  
by the German Bundestag