

Neue Einsichten zum Innenleben des Mars

Wie ist das Innere unseres Nachbarplaneten aufgebaut? Diese Frage soll die Marsmission «InSight» beantworten, bei der Forschende der ETH Zürich eine massgebende Rolle spielen. Die Sonde landete Ende November mit verschiedenen geotechnischen Messinstrumenten erfolgreich auf dem roten Planeten.

Die Erleichterung war bei allen Beteiligten gross: Als die NASA am Abend des 26. November 2018 bestätigte, die Marssonde «InSight» sei erfolgreich gelandet, konnten die Forscher an der ETH Zürich endlich aufatmen. Nachdem sie jahrelang intensiv für diese Mission gearbeitet haben, wissen sie nun, dass das grösste Hindernis auf dem weiten Weg überwunden ist: InSight ist gut auf unserem Nachbarplaneten angekommen! Und auch der zweite Schritt ist geglückt. Die Sonnensegel wurden erfolgreich ausgefaltet, so dass die Sonde nun mit neuem Strom versorgt werden kann. In den nächsten Wochen geht es jetzt darum, die Messgeräte nach und nach in Betrieb zu nehmen und die eigentliche wissenschaftliche Operation zu starten.

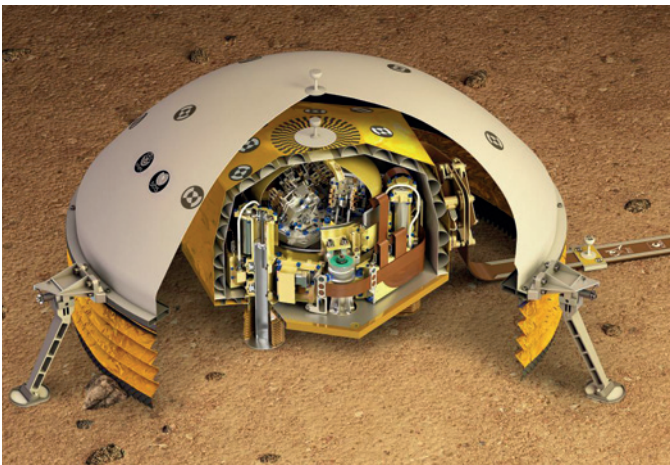
Eine Sonde auf dem Mars abzusetzen, ist auch heute noch keine Selbstverständlichkeit. Denn es gibt viele Möglichkeiten, dass beim komplexen Landemanöver doch noch etwas schiefgeht. So verwundert es denn auch nicht, dass von den über 40 Marsmissi-

onen, die seit der 1960er-Jahre von verschiedenen Ländern durchgeführt wurden, weniger als die Hälfte erfolgreich war.

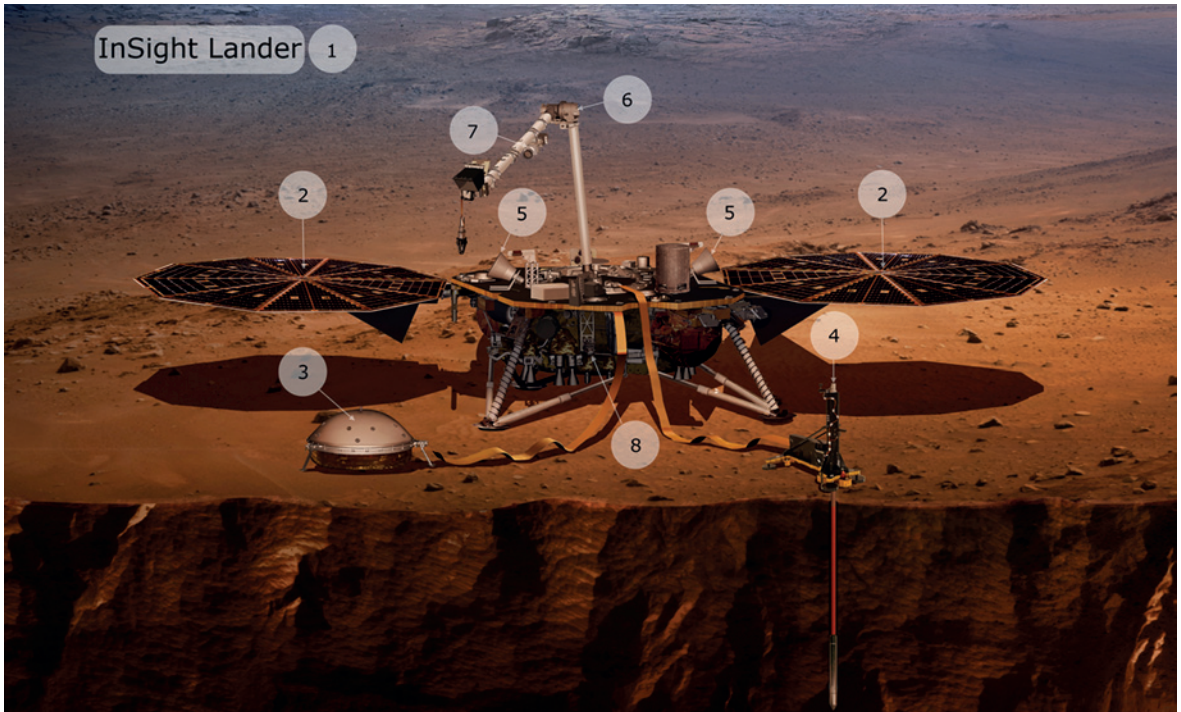
Damit InSight sicher auf dem Mars landen konnte, mussten verschiedene Abläufe perfekt ineinandergreifen: Als erstes musste sich die Sonde beim Anflug so ausrichten, dass sie mit dem Hitzeschild voran in die Marsatmosphäre eintrat. Ein Hitzeschild schützte die Sonde dabei vor Temperaturen von bis zu 1500 °C. Danach musste die Geschwindigkeit möglichst stark reduziert werden. Ein Fallschirm bremste die Sonde, die mit einer Fallgeschwindigkeit von 385 Metern pro Sekunde in die Atmosphäre eintrat, kontinuierlich bis zur Landung ab. Unterstützend wurden auf den letzten 100 Metern Raketen gezündet, die einen zusätzlichen Rückwärtsschub bewirkten. Und schliesslich durfte sich die Sonde nicht auf irgendwelche ungünstigen Felsstrukturen absetzen, sondern sie sollte möglichst auf flaches Terrain zu liegen kommen. All das klappte am 26. November wie geplant.

Jahrzehntelange Arbeit

Wer auf den Mars fliegen will, braucht viel Geduld. Dies musste auch Domenico Giardini von der ETH Zürich erfahren, einer der führenden Köpfe der InSight-Mission. Der Erdbebenforscher und Geophysiker verfolgt zusammen mit französischen Forschern schon seit der 1990er-Jahre seine Vision, geophysikalische Messinstrumente auf dem Mars zu stationieren. Immer wieder scheiterte das Vorhaben



Das Seismometer besteht aus zwei Schichten: Der weisse äussere Wind- und Wärmeschild schützt das Messgerät vor den harschen klimatischen Bedingungen auf dem Mars. Im Inneren befindet sich die messingfarbene Kuppel, in der sich die drei Pendel befinden, welche die Erschütterungen aufzeichnen. Die Messvorrichtung befindet sich in einer Vakuumkammer aus Titan, damit sie möglichst gut vor den Temperaturschwankungen geschützt ist.



Aufbau der Marssonde «InSight»: 1) Lander: Der Lander auf dem Mars ist 6 Meter lang (inklusive der zwei Sonnensegel), fast 1,6 Meter breit (mit den Sonnensegeln 2,2 Meter), maximal 108 Zentimeter hoch und 360 Kilogramm schwer. 2) Sonnensegel: Sie versorgen den Lander und seine Instrumente mit Strom und haben einen Durchmesser von 2,2 Metern. 3) Seismometer (SEIS): Es misst seismische Wellen von Marsbeben, Meteoriteneinschlägen, Magmafüssen im Untergrund oder auch den Erschütterungen des HP3-Experiments, um Rückschlüsse auf die Struktur und Zusammensetzung des Planeteninneren zu ziehen. 4) Wärmeflusssonde HP3: Sie hämmt sich fünf Meter tief in den Marsboden, um zu messen, wie viel Wärme vom Inneren an die Oberfläche des Planeten fliesst. 5) Rotationsmesser: Er misst die etwas wackelige Eigenrotation des Mars, welche Hinweise darauf gibt, ob der Mars im Innern fest oder flüssig ist. 6) Roboterarm: Er ist 2,4 Meter lang und kann mit seinen fünf Fingern, angetrieben von vier Motoren, das Seismometer und die Wärmeflusssonde anheben und auf dem Marsboden platzieren. 7) Kamera am Roboterarm: Die Kamera lässt sich beliebig ausrichten und erlaubt es, die Umgebung und Instrumente aus allen Perspektiven abzubilden. Mit Hilfe der farbigen 3D Bilder können die Forschenden von der Erde aus die besten Standorte für Instrumente bestimmen. 8) Kamera unter der Plattform: Sie hat ein Fischaugenobjektiv und kann damit weitwinkliger Fotos des gesamten Arbeitsbereichs machen.

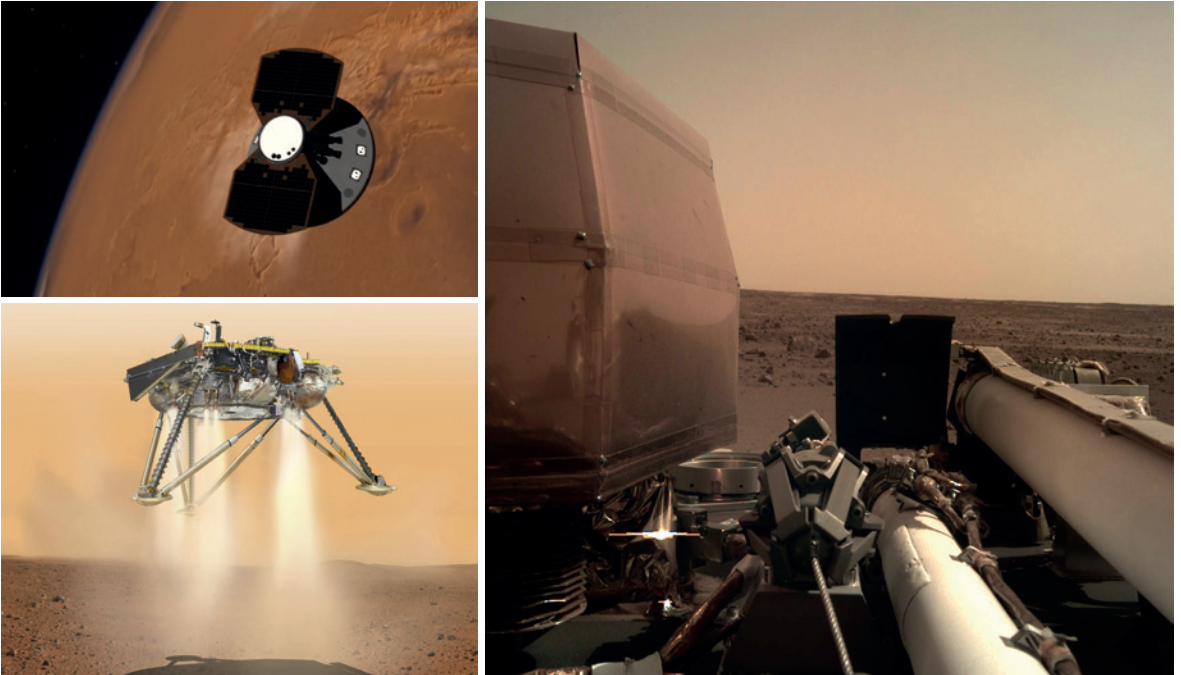
jedoch an scheinbar unüberwindbaren Hindernissen: Ein erster Versuch mit der Europäischen Raumfahrtbehörde schlug aus finanziellen Gründen fehl. Später dann versuchte das Konsortium, mit der japanischen Raumfahrtagentur das Projekt zu realisieren. Doch nach dem grossen Erdbeben von 2011 wurde das Projekt von den Japanern eingestellt. Vor vier Jahren schien es dann endlich zu klappen. Aber dann machten kurz vor dem Start gravierende technische Probleme den Forschern einen Strich durch die Rechnung. Der NASA schien die Sache zu riskant, weshalb sie den Start um vier Jahre verschob.

Am 5. Mai 2018 war es dann schliesslich soweit: Mit einer Atlas V-401-Trägerrakete wurde die InSight-Sonde endlich zum Mars losgeschickt – und sie landete nun nach einer rund siebenmonatigen Reise sicher auf dem Mars.

Gibt es Beben auf dem Mars?

Das wichtigste Ziel von InSight besteht darin, Aufschlüsse zu gewinnen, welche Entwicklungsprozesse den Mars geprägt haben. Hierfür werden Grösse, Dicke, Dichte und Gesamtstruktur von Kern, Mantel und Kruste des Planeten erforscht. Zudem wird mit einer Wärmeflusssonde, die in den Boden gerammt wird, bestimmt, wie viel Wärme aus dem Planeteninneren entweicht. Ferner wird man anhand der Messungen Aufschluss darüber gewinnen, ob es auf dem Mars seismische Aktivität gibt und ob der Kern fest oder flüssig ist. Zudem erhoffen sich die Forscher Einsichten über Meteoriteneinschläge.

Das aus Schweizer Sicht zweifellos wichtigste Messinstrument ist das Seismometer, an dessen Entwicklung das Labor für Raumfahrtelektronik und -instrumente der ETH Zürich massgeblich



So könnte sich die Landung der Marssonde InSight abgespielt haben: Links oben ist die Sonde kurz vor dem Eintritt in die Marsatmosphäre zu sehen, links unten wenige Momente vor der Landung auf der Marsoberfläche. Rechts: Eines der ersten Bilder, das die Sonde nach der Landung zur Erde geschickt hat.

beteiligt war. Die Zürcher Ingenieure und Techniker haben die Datenerfassungs- und Steuerungselektronik sowie die Stromversorgung des Seismometers konzipiert – eine anspruchsvolle Aufgabe. Denn auf dem Mars und während der Reise dahin herrschen schwierige Bedingungen, welche die Elektronik stark belasten. Die Elektronik muss dabei verschiedenen Ansprüchen genügen: Sie muss möglichst klein, leicht und stromsparend sein und gleichzeitig den Erschütterungen und Vibrationen bei Start und Landung sowie der kosmischen Strahlung standhalten. Ausserdem muss sie bei Temperaturen von -35 bis $+55$ °C hochpräzise und stabil arbeiten.

Um den Betriebszustand zu überwachen, werden zahlreiche Parameter gemessen, gespeichert und auf die Erde übertragen. Im Falle einer Störung schaltet sich das Seismometer automatisch aus. Damit das möglichst nicht notwendig ist, wurde die Elektronik redundant ausgeführt, sodass im Notfall von der einen Einheit auf die andere umgeschaltet werden kann.

Lernen aus Fehlschlägen

Seismometer erfolgreich auf dem Mars zu landen, gelang bisher nur im Rahmen der beiden Viking Missionen im Jahre 1976. Jedoch waren die Seismometer unglücklicherweise nicht im Stande, Marsbeben

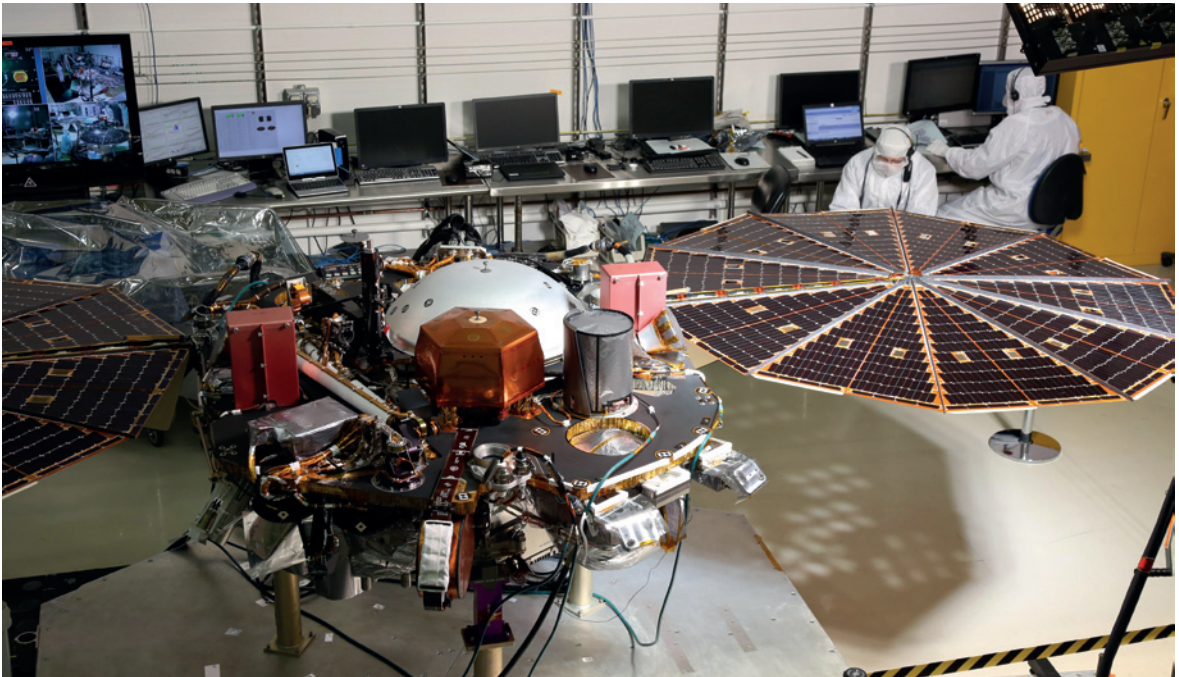
nachzuweisen. Der Sensor von Viking 1 funktionierte nicht ordnungsgemäss. Das Seismometer von Viking 2 zeichnete zwar während fast eineinhalb Jahren Daten auf, allerdings gab es nur eine Sequenz, die als Marsbeben interpretiert werden könnte. Die Daten wiesen eine schlechte Qualität auf, da starke Winde die Landeplattform und damit das darauf angebrachte Seismometer zum Vibrieren brachten.

Damit nun bei InSight nicht das Gleiche passiert, wird das Seismometer von der Plattform entkoppelt und direkt auf dem Marsboden installiert. Zudem wird es mit einem Wind- und Hitzeschutz abgedeckt.

Ein langer Weg für die Daten

Das Seismometer speichert seine Daten zuerst auf dem eigenen Flash-Halbleiterspeicher. Dieser ist ausreichend gross, um Aufzeichnungen von über 50 Stunden zu fassen. Ab dem Frühjahr 2019 werden die Daten dann zweimal täglich an das Deep Space Network (DSN) der NASA übermittelt. Abhängig von der Position des Mars und der Erde erfolgt dies entweder direkt oder via einen Mars-Orbiter.

Das DSN ist ein weltweites Netzwerk von Antennen, welche die Kommunikation ins Weltall rund um die Uhr ermöglichen. Die Antennen mit Durchmessern von 34 bis 70 Metern befinden sich in der



Vor dem Start wird die Landeeinheit im Labor noch einmal überprüft. Gut erkennbar sind die beiden Sonnensegel und der weisse Behälter, in dem sich das Seismometer befindet.

Nähe von Goldstone (USA), Canberra (Australien) und Madrid (Spanien). Das DSN leitet die Signale via die französische Raumfahrtagentur CNES an das Datenzentrum des Schweizerischen Erdbebendienstes an der ETH Zürich weiter, wo diese ausgewertet werden. Die gesamte Datenübermittlung von der Sonde an die ETH Zürich dauert ungefähr ein bis zwei Stunden.

Viele offene Fragen

Sobald Daten vom Mars an der ETH Zürich eintreffen, werten Seismologinnen und Seismologen des Schweizerischen Erdbebendienstes und der Gruppe für Seismologie und Geodynamik diese im Rahmen ihrer Routinearbeit aus.

Auf der Erde werden normalerweise die Daten mehrerer Messstationen berücksichtigt, wenn man herausfinden will, wann und wo genau sich ein Beben ereignet hat. Auf dem Mars ist das InSight-Seismometer nun das einzige Messgerät. Aus diesem Grund wird bei der Auswertung darauf geachtet, auch in den schwächsten Signalen Hinweise auf mögliche Marsbeben, Meteoriteneinschläge oder auch kleinere Tornados zu finden. Die Mitarbeitenden des Marsbebendienstes kombinieren dazu Methoden aus der Frühzeit der Seismologie, als es auch auf der Erde nur einzelne Seismometer gab, mit

modernen Analyseverfahren zur Lokalisierung der seismischen Ereignisse.

Marsbeben und Meteoriteneinschläge, aber auch die Hammerschläge, mit denen sich die Wärmeflusssonde HP3 in den Marsboden vorarbeitet, erzeugen seismische Wellen. Diese breiten sich im Untergrund aus und werden an den Grenzen verschiedener Schichten reflektiert, wie das Echo an einer Felswand. Aus den Laufzeiten, Amplituden und dem Frequenzgehalt der registrierten Wellen kann nicht nur ein Bild der obersten Schichten rund um die InSight Landeplattform erstellt werden, es besteht auch die Möglichkeit, die Tiefe des Krustemantel-Übergangs oder des Marskerns zu bestimmen. Kombiniert mit Laborexperimenten an Gesteinen und thermodynamischen Grundsätzen ist sogar eine Schätzung der Zusammensetzung und Temperatur des gesamten Mars-Mantels möglich.

Für die Forscher an der ETH Zürich jedenfalls steht fest, dass nun das nächste spannende Kapitel in der Erforschung des Mars beginnt. Und dass sie bei dieser Mission der NASA eine derart führende Rolle spielen können, erfüllt sie zu Recht mit Stolz.

Felix Würsten

Informationen zur Mission finden sich unter:
www.insight.ethz.ch