

Spitzbergen – irdisches Analog zum Mars

Von Ernst Hauber





Die Planetenforschung bedient sich seit Langem terrestrischer, also auf die Erde bezogener, Analogien. Sie definiert sie als Formen oder Umgebungen, die eine oder mehrere geologische oder sonstige Eigenschaften aufweisen, welche in ähnlicher Form auf anderen Planeten oder Monden beobachtet werden. DLR-Wissenschaftler machten sich auf den Weg nach Spitzbergen, um dort Analogien zu finden, die ihnen in der Marsforschung hilfreich sein können.

Zu den frühesten Analogien in der Planetenforschung gehörten Einschlagskrater auf der Erde. Man verglich sie mit Mondkratern, die am Ende des 19. Jahrhunderts in den Teleskopen immer deutlicher zu sehen waren. Auch die Astronauten der Apollo-Missionen trainierten in Kratern auf der Erde, um sich für die Arbeiten auf dem Mond vorzubereiten.

Als Anfang der Siebzigerjahre Bilder der Planetensonde Mariner 9 eine unerwartet vielfältige Marsoberfläche zeigten, konnten viele Beobachtungen durch den Vergleich mit bekannten Formen auf der Erde erklärt werden. Prägnantes Beispiel sind die großen Marsvulkane: Ihre Gestalt ist nahezu identisch mit großen basaltischen Schildvulkanen wie etwa denen der Hawaii-Inseln. Unmittelbar und ohne jeden Zweifel war damit klar, dass Vulkanismus den Mars geprägt hat.

Die meisten Analogien in der Planetengeologie gibt es für den Mars. Von der Erde abgesehen ist seine Oberfläche die abwechslungsreichste

aller Planeten und Monde, da sie nicht nur von Vulkanismus und Tektonik, sondern offenbar auch von Wasser, Eis und Wind gestaltet wurde. Viele verschiedene Oberflächenprozesse haben ihre Spuren hinterlassen und ständig liefern die fünf gegenwärtig aktiven Missionen neue Daten. Gerade die Beobachtungen aus den Landmissionen erfordern den Vergleich mit terrestrischen Analogien, bei denen die ursächlichen Prozesse bekannt sind und im Detail sowie in ihrer Wechselwirkung genau untersucht werden können.

Ein Beispiel sind die geochemischen Resultate der Mission Mars Exploration Rover, insbesondere die der Sonde Opportunity. Die Spektrometer des Rovers konnten das eisenhaltige Sulfat Jarosit entdecken, das nur in einem sehr sauren Milieu gebildet werden kann. Es gibt nur wenige Orte auf der Welt, an denen derartige Bedingungen vorherrschen. Ein Fluss in der Nähe einer spanischen Mine erwies sich als das beste Analog. Er weist wegen der seltenen



In einem Land ohne Straßen und Wege gestaltet sich das Fortkommen oft mühsam. Das Wasser kommt direkt aus dem Gletscher und ist kalt genug, dass die Expeditionsteilnehmer nichts auf der anderen Seite liegen lassen.

Kombination von Mineralien, die in den sauren Minenabwässern entstehen, eine ungewöhnliche Farbgebung auf und wird deswegen Rio Tinto (der rote Fluss) genannt. Seit dem Nachweis von Jarosit auf dem Mars zieht er viele Marsforscher an, die wissen wollen, welche geochemischen Prozesse in dieser einzigartigen Umgebung ablaufen. Die Existenz von acidophilen (säuretoleranten) Mikroorganismen im Rio Tinto macht ihn sogar zum Studienobjekt von Astrobiologen, die erforschen wollen, welche extremen Bedingungen Lebewesen auf der Erde aushalten können.

Zufällig ähnlich?

Die Notwendigkeit, nach ganz andersartigen Analogien zu suchen, ergab sich bei der Auswahl der Stellen für die Marslandung im Rahmen der amerikanischen Phoenix-Mission, die im Jahr 2007 begann. Auf Bildern aus dem Orbit hatte man polygonale Muster in der geplanten Landeregion wahrgenommen. Solche Vielecke sind auf der Erde als Resultat zahlreicher geologischer Prozesse bekannt. Polygonböden kennt man beispielsweise aus den arktischen Regionen Kanadas und Sibiriens, wo sie das Resultat von zy-

klischen Tau- und Gefrierprozessen sind. Sie weisen auf Eis im Untergrund hin und sind somit Anzeichen für Permafrostböden. Allerdings können auch andere Prozesse polygonale Oberflächenmuster erzeugen, etwa die Austrocknung feuchten Materials.

Verschiedene Ursachen können also zu einem ähnlichen Ergebnis führen. Das erschwert die eindeutige Interpretation von Bilddaten planetarer Oberflächen. Umso wichtiger ist es, die verschiedenen möglichen Ursachen und die relevanten Parameter zu kennen, wofür wiederum die Analo-



Laborexperimente helfen, planetare Oberflächenprozesse zu verstehen und zu quantifizieren, sind aber im Vergleich zu natürlichen Bedingungen vereinfacht. Hier wird im Eurotank der Universität Utrecht versucht, ein Flussdelta in einem Kratersee zu erzeugen.

Wozu Suche nach Analogien?

Als Analogie bezeichnet man in der Philosophie eine Ähnlichkeit oder Übereinstimmung verschiedener Sachverhalte bezüglich gewisser Merkmale. In einem Analogieschluss wird von der Übereinstimmung dieser Merkmale die Übereinstimmung anderer oder aller Merkmale abgeleitet. Obwohl ein derartiger Schluss keineswegs zwingend richtig ist, sind Analogien eine wichtige Grundlage der Erfahrung und damit des Wissens. Denn mit deren Hilfe lassen sich verschiedene Hypothesen zur Erklärung einer Beobachtung aufstellen. Beobachtet man in der Planetenforschung ein unerklärtes Phänomen, kann es hilfreich sein, Analogien von der Erde heranzuziehen, deren Entstehung bekannt ist.

Mit terrestrischen Analogien zu planetaren Oberflächenprozessen und Geländeformen können sowohl Modelle der Entwicklung von Planeten erstellt, als auch ihre gegenwärtigen Umweltbedingungen besser verstanden werden. Für Geowissenschaftler ist die Erde der Referenzkörper schlechthin – das Verständnis geologischer Prozesse basiert wesentlich auf ihrer Erforschung durch unmittelbare Beobachtung und Messungen in situ, also vor Ort und möglichst aus der Nähe. Im Gegensatz dazu sind von anderen planetaren Körpern nur Fernerkundungsdaten und, im Fall von Mond und Mars, einige Meteorite verfügbar, wobei man allerdings von Letzterem nicht den genauen Herkunftsort und insofern auch nicht den geologischen Kontext kennt. Hier sind Analogien gefragt.

gien als Studienobjekte wichtig sind. Für periglaziale Prozesse auf dem Mars sind Polygone nicht die einzigen Indikatoren: Seitdem die Oberfläche des Roten Planeten anhand immer höher aufgelöster Bilder studiert werden kann, erkennt man viele Details, die Strukturen in den polaren Regionen der Erde verblüffend ähneln. Auf dem Mars werden sie auch in jenen Breitengradbereichen beobachtet, in denen flüssiges Wasser oder Eis physikalisch gar nicht stabil sein können. Sind es tatsächlich Permafrosterscheinungen? Oder sehen sie nur so ähnlich aus, sind aber durch ganz andere

Prozesse entstanden? – In jedem Fall ist es vorteilhaft, entsprechende Formen in ihrem natürlichen Kontext auf der Erde kennen zu lernen, bevor man durch vorschnelle Interpretationen zu eventuell falschen Schlüssen gelangt.

Feldkampagnen

In den beiden vergangenen Sommern beteiligte sich das DLR-Institut für Planetenforschung an Expeditionen nach Spitzbergen, um verschiedene periglaziale Oberflächenformen zu untersuchen. Als periglazial

werden Formen bezeichnet, die nur im Permafrostbereich auftreten. Mit seiner Lage jenseits des Polarkreises zwischen etwa 77 bis 80 Grad nördlicher Breite ist die Insel eines der wenigen gut erreichbaren Gebiete der Erde, das solche Oberflächen aufweist. Die Tatsache, dass Spitzbergen nur zu zirka zwei Dritteln mit Gletschern bedeckt ist, macht sie für die Planetologen interessant: Ihr Interesse gilt dem unvergletscherten Drittel, das in der Zone des kontinuierlichen Permafrost liegt. Hier treffen sie viele Phänomene des periglazialen Klimas auf engem Raum an.



Mit einem Feldspektrometer werden die Farbeigenschaften der Oberflächen erfasst.



Ernst Hauber, Autor des Beitrags, entnimmt Bodenproben und misst Temperatur sowie thermale Leitfähigkeit.



Ein Laser dient der Entfernungsmessung, um die Genauigkeit der Flugzeugdaten zu überprüfen.

Das Klima Spitzbergens ist trocken und kalt. Es kann daher in gewisser Weise als marsähnlich betrachtet werden. Ein weiterer Vorzug ist die relativ gute Erreichbarkeit. Linienflüge gehen täglich von Norwegen nach Longyearbyen, der Haupt„stadt“ der Inselgruppe, die insgesamt lediglich etwa 2.500 Einwohner hat. Von dort aus gelangt man per Boot, Flugzeug oder Helikopter weiter zum Zielort.

Für die Kampagne 2008 war ein Bergmassiv am Adventfjord das Ziel. Dessen Hänge sind stark von Erosionsrinnen gekennzeichnet. Die Entdeckung sehr ähnlicher Rinnen (englisch: Gullies) auf dem Mars hatte vor einigen Jahren für Aufsehen gesorgt. Denn die Rinnen auf dem Mars waren offensichtlich vergleichsweise jung und von fließendem Wasser erodiert worden. Untersuchungen ließen vermuten, dass Wasser aus unterirdischen Wasserleitern, so genannten Aquiferen, die Rinnen verursacht hatte. Einige Beobachtungen sprechen allerdings dagegen, so zum Beispiel das Auftreten von Gullies auf kleinen isolierten Zentralbergen von Einschlagskratern. Wie sollte dort ein Grundwasserleiter existieren können? Niederschlag scheint also eher als Wasserquelle in Betracht zu kommen.

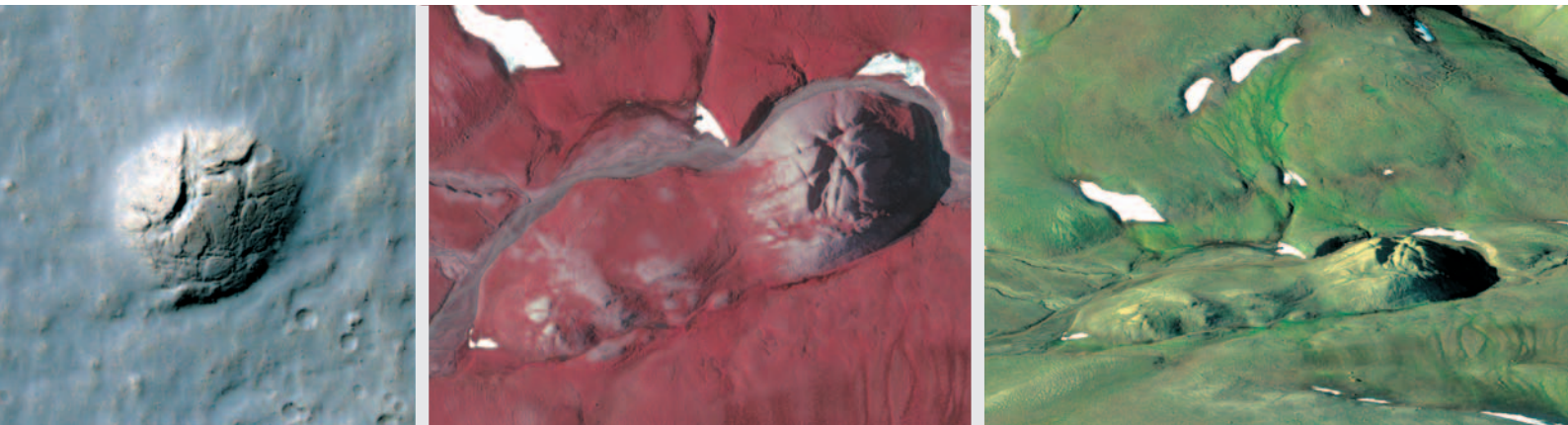
Die Beobachtungen der Forscher in Spitzbergen stärken diese Überlegung. Wenn Schnee im Frühjahr schmilzt und das Erdreich durchfeuchtet, bedarf es nur eines weiteren Auslösers, um Schuttströme abgehen zu lassen, die die Rinnen erzeugen. Ein solcher Auslöser kann zum Beispiel starker Regen oder Steinschlag sein. Dieses Modell scheint auch auf den Mars anwendbar zu sein. Sollte allerdings noch vor wenigen hunderttausend oder einigen Millionen Jahren Regen oder

Schnee in den mittleren Breiten des Planeten gefallen sein, in denen die Gullies gehäuft auftreten, müsste sich das Klima kurzfristig verändert haben. Denn heute ist Regen oder Schneefall in diesen Regionen physikalisch nicht mehr möglich – der Atmosphärendruck ist einfach zu gering und die Temperaturen sind zu niedrig.

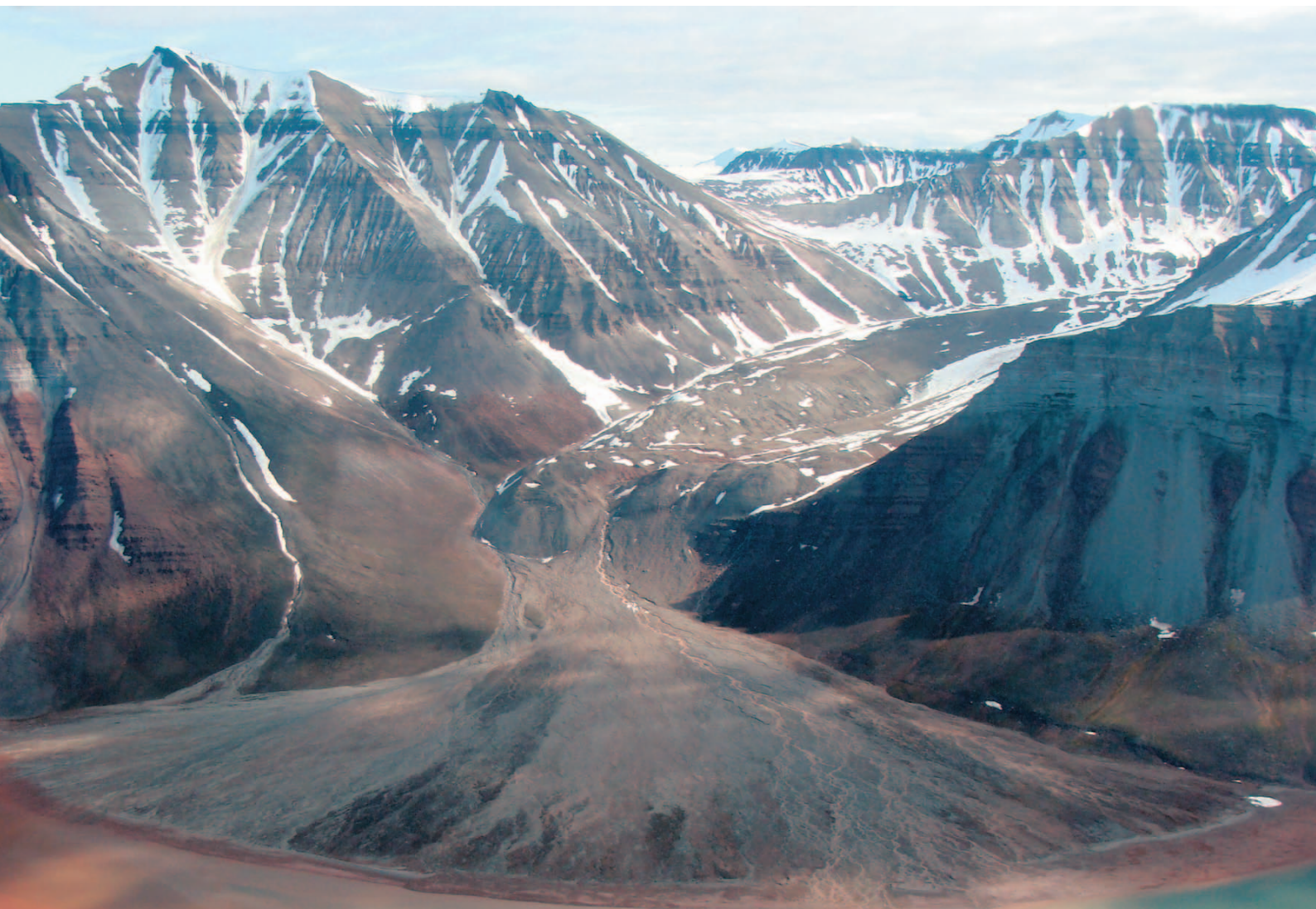
Pingos und Steinkreise

Weitere Ziele der Kampagne waren Eiskeilpolygone, Blockgletscher, Frostmusterböden, Pingos und Steinkreise. Jede dieser Strukturen ist als Analogie für ähnliche Formen auf dem Mars bereits in der Diskussion. Im Juli und August 2009 wurden nun zwei weitere Stellen besucht. Auf der Brøgger-Halbinsel sind vor allem die ausgeprägten Steinkreise bemerkenswert. Jüngst sind auf Bildern der HiRISE-Kamera Strukturen beobachtet worden, die einige Forscher auch als Steinkreise interpretieren. Allerdings ist diese Schlussfolgerung nicht eindeutig. Die beteiligten Gesteinspartikel auf dem Mars sind beispielsweise wesentlich größer als auf Spitzbergen. Untersuchungen vor Ort in Spitzbergen zeigten nun, dass die lokale Topographie eine wesentliche Rolle bei der Konzentration großer Wassermengen im Untergrund spielt – eine Voraussetzung für die Bildung von Steinkreisen. Doch noch ist völlig unklar, ob derartige Voraussetzungen auf dem Mars gegeben sind oder waren.

Der Aufenthalt auf Brøgger wurde vom deutsch-französischen AWIPEV-Programm logistisch unterstützt. Im Rahmen dieser Kooperation zwischen dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) und dem französischen Polarinstitut Paul Emile Victor (IPEV) wird in Ny-



Pingos sind Hügel im periglazialen Raum, die durch das Wachsen eines Eiskerns im Inneren entstehen. Links ein möglicher Pingo auf dem Mars (der Durchmesser des Hügels beträgt knapp 100 Meter). Die beiden anderen Bilder haben eine Breite von ca. 500 Metern und zeigen einen Pingo auf Spitzbergen. Sie wurden mit der HRSC-AX-Kamera aufgenommen (in der Mitte eine Falschfarbansicht, rechts eine simulierte Schrägansicht).



Spitzbergen ist ein Paradies für Geologen und Geomorphologen. Die äußerst spärliche Vegetation erlaubt überall den ungehinderten Blick auf die Oberfläche.



Die am DLR mitentwickelte Kamera für Exomars wird an einem Fjord in Spitzbergen getestet.

Alesund, einer ehemaligen Siedlung von Minenarbeitern, eine Forschungsstation betrieben. Die am Programm AWIPEV beteiligten Wissenschaftler-Kollegen sorgten in Ny-Alesund für Unterkunft und Verpflegung der Neankömmlinge, statteten das Feldteam mit Waffen zum Schutz vor Eisbären aus und brachten es mit Booten an den äußersten Rand der Halbinsel, wo das Lager aufgeschlagen wurde. Das zweite Lager wurde im Inneren Spitzbergens errichtet. Der Transport erfolgte per Helikopter.

Ein Schwerpunkt lag auf der Untersuchung von Eiskeilpolygonen. An mehreren Stellen wurden jeweils im Inneren und am Rand eines Polygons Löcher in die Auftauschicht bis hinunter zum Beginn des gefrorenen Bodens gegraben. In regelmäßigen

Abständen entnahmen die Wissenschaftler dann von oben nach unten Proben, maßen Temperaturprofile, bestimmten den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens und führten insgesamt über 300 Messungen der Wärmeleitfähigkeit durch. Die zweite Kampagne endete im August 2009 und die Auswertung der Daten wird noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Ein wesentliches Ziel besteht in der Klärung der Frage, wie viel Wasser zu welcher Zeit bei der Bildung der möglichen periglazialen Formen auf dem Mars beteiligt war. Außerdem interessiert die Forscher, ob Permafrost auf dem Mars gegenwärtig oder in der Vergangenheit ein Lebensraum für Organismen gewesen sein könnte. Auf der Erde ist dies der Fall – könnte es auch auf unseren Nachbarplaneten zutreffen und Leben, wie wir es kennen,

auch unter den dortigen Umweltbedingungen ermöglicht haben? Darauf sollen unter anderem im Rahmen der Helmholtz-Allianz „Planetenentwicklung und Leben“ Antworten gefunden werden.

Befliegung mit der Hochleistungskamera HRSC-AX

Ein wesentlicher Aspekt bei den Arbeiten in Spitzbergen ist die Möglichkeit, Untersuchungen im Feld mit Fernerkundungsdaten vergleichen zu können. Zu diesem Zweck wurden sechs Gebiete mit der HRSC-AX befliegen, einer Weiterentwicklung der High Resolution Stereo Camera (HRSC), die seit mehr als fünf Jahren an Bord der ESA-Mission Mars Express Stereoaufnahmen der Marsoberfläche liefert. HRSC-AX ist für den Einsatz

Fast wie im All – die Expedition AMASE

Seit zwei Jahren beteiligt sich das DLR an der Expedition AMASE (Arctic Mars Analog Svalbard Expedition). Jeweils etwa 30 Wissenschaftler verschiedener Nationen chartern dafür einen kleinen Eisbrecher, die R/V Lance des Norwegischen Polarinstituts. Zwei Wochen lang steuern sie verschiedene Fjorde an, an denen sie geologische Phänomene mit einem Bezug zur Marsforschung oder der Astrobiologie untersuchen und Instrumente zukünftiger Missionen in einer realitätsnahen Umgebung testen. Die Finanzierung dieser Aktivitäten erfolgt einerseits durch das ASTEP-Projekt der NASA, andererseits durch das ESA-Programm PRODEX (PROgramme de Développement d'EXpériences scientifiques). PRODEX fördert die Entwicklung von wissenschaftlichen Instrumenten oder Experimenten, die von Instituten oder Universitäten der Mitgliedstaaten für ein Programm in den verschiedenen Feldern der Raumforschung vorgeschlagen wurden und von der ESA bereits ausgewählt sind.

Ein wissenschaftlicher Höhepunkt der Expedition 2009 war die zweitägige Simulation einer Mars Sample Return Mission. Unter möglichst realitätsnahen Bedingungen sollten die Instrumente in einem Missionsszenario betrieben werden. Nur wenige Stunden Zeit standen zur Verfügung, um umfangreiche Datensätze zu analysieren und einen Plan für das weitere Vorgehen zu entwerfen. Ein Teil der Forscher brachte die Instrumente an Land und nahm Daten auf, die in einen fensterlosen Raum an Bord des Schiffs übertragen wurden. Dort analysierten andere Expeditionsteilnehmer die Ergebnisse und entschieden ausschließlich auf dieser Grundlage, was an Land als nächstes geschehen soll. Auf diese Weise wird die räumliche Trennung zwischen den Bodenstationen auf der Erde und Landfahrzeugen auf anderen Planeten simuliert.

Kooperationspartner

Die Feldarbeiten wurden im Rahmen einer internationalen Kooperation durchgeführt. Partner sind neben dem DLR die Universität Münster, das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Potsdam und die schwedischen Universitäten Göteborg und Stockholm. Logistische Unterstützung vor Ort erfolgte durch das Norwegische Polarinstitut in Longyearbyen und die Deutsch-Französische Arktis-Forschungsbasis AWIPEV in Ny-Alesund.

Projektbeteiligung

Feldarbeit: Ernst Hauber
AMASE: Nicole Schmitz
HRSC-AX Befliegung: Frank Trauthan
HRSC-AX-Prozessierung: Frank Preusker



Die Ausrüstung muss per Boot oder Helikopter bis zum Basislager transportiert werden. Von dort ist das Fortkommen nur noch zu Fuß möglich.

auf Flugzeugen konzipiert und seit mehreren Jahren im Einsatz. In Spitzbergen wurde sie mit der Do 228 des DLR geflogen. Die dabei entstandenen Bilder haben eine räumliche Auflösung von 20 Zentimetern pro Bildpunkt. Sie sind damit unmittelbar mit den Bildern der HiRISE-Kamera vergleichbar, die auf der NASA-Mission Mars Reconnaissance Orbiter fliegt und Bilder mit 25 bis 32 Zentimetern pro Bildpunkt erzeugt. Der besondere Wert der HRSC-AX-Daten liegt in den auf diese Weise herstellbaren digitalen Höhenmodellen. Diese besitzen eine Zellgröße von 50 Zentimetern und eine vertikale Genauigkeit von 20 Zentimetern. Damit bilden sie die Topographie der Oberfläche in phantastischem Detailreichtum ab und sind für die quantitative Analyse der Oberfläche, ihre Morphometrie, von unschätzbarem Wert.

Die Spitzbergen-Kampagne mit den drei Aspekten Feldarbeit, Befliegung und Instrumententests erwies sich als ausgezeichnete Möglichkeit, einer Vielzahl wissenschaftlicher Fragestellungen in der Marsforschung mit Hilfe terrestrischer Analogien nachzugehen. Insbesondere die Kombination der Arbeiten im Gelände mit den Flugzeugbildern eröffnet neue Möglichkeiten, da die punktuellen Beobachtungen vor Ort auf diese Weise über große Flächen extrapoliert werden können. Umgekehrt bietet die Feldarbeit die Möglichkeit, die Interpretation der Fernerkundungsdaten zu verifizieren. Die ähnliche räumliche Auflösung von HRSC-AX (etwa 20 Zentimetern; Erde) und HiRISE (25-32 Zentimetern; Mars) erlaubt es zudem, erstmals die Oberflächen auf Erde und Mars im selben Maßstab zu

vergleichen. Damit steht den Forschern eine vollständige Analysepalette zur Verfügung: Marsbilder, Flugzeugbilder terrestrischer Analogien und Geländebeobachtungen vor Ort.

Autor:

Ernst Hauber ist Geologe am DLR-Institut für Planetenforschung. Sein Spezialgebiet sind die Oberflächen der terrestrischen Planeten. Er ist Co-Investigator im Kamera-Team der HRSC und dabei unter anderem für die Aufnahmeplanung zuständig.

www.dlr.de/marsanalog

Die 3-D-Ansicht des Arbeitsgebiets wurde aus HRSC-AX-Stereobildern berechnet. Die Hangrinnen gleichen in Form und Größe den jungen Gullies auf dem Mars.

