

HELMHOLTZ-ALLIANZ
PLANETENENTWICKLUNG UND LEBEN
HELMHOLTZ-ALLIANCE
PLANETARY EVOLUTION AND LIFE

INHALTSVERZEICHNIS

CONTENT

Vorwort Foreword	3
Ist die Erde ein Unikat? Is the Earth Unique?	4
Die Helmholtz-Allianz Planetenentwicklung und Leben The Helmholtz Alliance Planetary Evolution and Life	8
Wechselwirkungen Biosphäre-Atmosphäre-Oberfläche und Entwicklung der Atmosphäre Biosphere-Atmosphere-Surface Interactions and Atmospheric Evolution	10
Wechselwirkungen Planeteninneres-Atmosphäre, Magnetfeld und Entwicklung der Planeten Interior-Atmosphere Interaction, Magnetic Field, and Planetary Evolution	12
Impakte und die Entwicklung der Planeten Impacts and Planetary Evolution	14
Geologischer Kontext von Leben Geological Context of Life	16
Wasser und Leben unter Extrembedingungen Water and Life under Extreme Conditions	18
Werkzeuge und Strategien für die Erkundung der Habitabilität von Planeten Tools and Strategies to Explore the Habitability of Planets	20
Begleitende Aktivitäten Backbone Activities	22
Partner Partner	24
Bildlegenden Image Captions	26
Impressum Imprint	27
Bildnachweis 2 Image Credits	27



LIEBE LESERINNEN UND LESER,

Sie haben sich bestimmt schon gefragt, ob es Leben nur auf der Erde oder auch anderswo im Universum gibt. Angesichts der unvorstellbar großen Zahl von Sternen im Kosmos wäre es mehr als erstaunlich, wenn Leben nur auf der Erde entstanden wäre. Dennoch zeigt ein Blick in unser Sonnensystem, dass sich unser blauer Planet von seinen Nachbarplaneten deutlich unterscheidet. Wie entsteht ein planetarer Körper wie unsere Erde und was sind die Bedingungen für seine leben schaffende Entwicklung? Wirkt das Leben auf die Entwicklung der Erde zurück – nicht nur durch menschliche Ausbeutung? Schafft sich das Leben eventuell die Bedingungen, unter denen es sich optimal entwickeln kann?

Diese Fragen stellt sich die Helmholtz-Allianz ‚Planetenentwicklung und Leben‘, die im April 2008 ihre Arbeit aufnehmen konnte. Diese Forschungsallianz ist interdisziplinär angelegt und gliedert sich in sechs Themen, die jeweils von einem Wissenschaftler des federführenden Instituts für Planetenforschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) koordiniert werden. Auf den folgenden Seiten wollen wir Ihnen unsere grundlegenden Fragen näher erörtern und Ihnen aufzeigen, wie wir diese zu beantworten suchen. Darüber hinaus wollen wir Ihnen darlegen, wie unsere Allianz zur Ausbildung junger Wissenschaftler beiträgt.

Die Entdeckung von außerirdischem Leben wäre von Bedeutung weit über die Naturwissenschaften hinaus. Mit unserer Forschung wollen wir einen Beitrag für die internationale Suche nach Leben im Universum leisten.

Prof. Dr. Tilman Spohn
Direktor, DLR-Institut für Planetenforschung
Wissenschaftlicher Koordinator der Helmholtz-Allianz

DEAR READERS,

You, too, must have occasionally asked yourself the question of whether life is confined to the Earth or can be found elsewhere in the universe. Looking at the vast number of stars in the cosmos it would be more than astonishing if life had not originated elsewhere. But looking at our neighbourhood – the solar system – it must be recognised that our blue planet stands out. How does such a planetary body originate and what are the evolutionary conditions for life to eventually originate and conquer the planet. And does life itself affect the evolution of the planet – not only through exploitation by humans? Could it be that life creates the very conditions under which it can evolve optimally?

These are questions addressed by the Helmholtz Alliance ‘Planetary Evolution and Life’ which began its work in April 2008. The interdisciplinary structure of this research Alliance encompasses six Topics, each coordinated by a scientist from the responsible Institute of Planetary Research in the German Aerospace Centre (DLR). Our fundamental questions and how we intend to answer them will be further discussed in the following pages. In addition, we describe how we contribute to educating young scientists.

The discovery of extraterrestrial life would be of importance way beyond of natural sciences. With our research we aim to contribute significantly to the international search for life in the universe.

Prof. Dr. Tilman Spohn
Director, DLR Institute of Planetary Research
Scientific Coordinator of the Helmholtz Alliance



Ist die Erde ein Unikat?

Erstaunlicherweise gibt es keine allgemein akzeptierte wissenschaftliche Definition des Lebens. Wenn man dem großen Thermodynamiker Ilya Prigogine folgt und Leben als die höchste Organisationsform von Materie betrachtet, dann kann man sich fragen, ob Leben die konsequente Folge der Entwicklung von Planeten mit bestimmten, uns im Detail noch nicht bekannten Voraussetzungen ist. Wie entstehen solche Planeten und was sind die Bedingungen für ihre das Leben fördernde Entwicklung? Kann es belebte Planeten in anderen Sonnensystemen geben und wie wirkt das Leben auf die Entwicklung der Planeten zurück? Schafft sich das Leben Bedingungen, unter denen es sich optimal entwickeln kann, wenn nur eine Schwelle der Biomasse überschritten ist?

Diese Fragen sind auch für die Erde nicht einfach zu beantworten, da sich unser Heimatplanet durch einen fort dauernden Wandel der Oberfläche als Folge von Erosion und Tektonik auszeichnet. Die Erde hat sich in den viereinhalb Milliarden Jahren ihrer Existenz ständig verändert und ihre Frühgeschichte liegt daher ziemlich im Dunkeln. Dies ist anders bei Mond und Mars, deren Oberflächen in weit geringerem Ausmaß verändert wurden.

Andererseits wird mit einigem Recht vermutet, dass die Plattentektonik, die auf der Erde für ständige geologische Veränderungen sorgt, eine Voraussetzung für die Entwicklung des Lebens sein könnte. Die Erdoberfläche besteht aus sieben größeren Krustenplatten, die gegeneinander verschoben werden und an deren Rändern neue Kruste entsteht bzw. Kruste in das Erdinnere gezogen wird. Die weithin bekannte Kontinentaldrift ist ein wesentliches Merkmal der Plattentektonik. Dabei entstehen Landmassen, Ozeanbecken und Schelfe, die Biodiversität ermöglichen haben. Vulkanismus und Erdbebenstätigkeit entlang der Plattengrenzen sind die für den Menschen spürbaren Folgen der Plattentektonik.

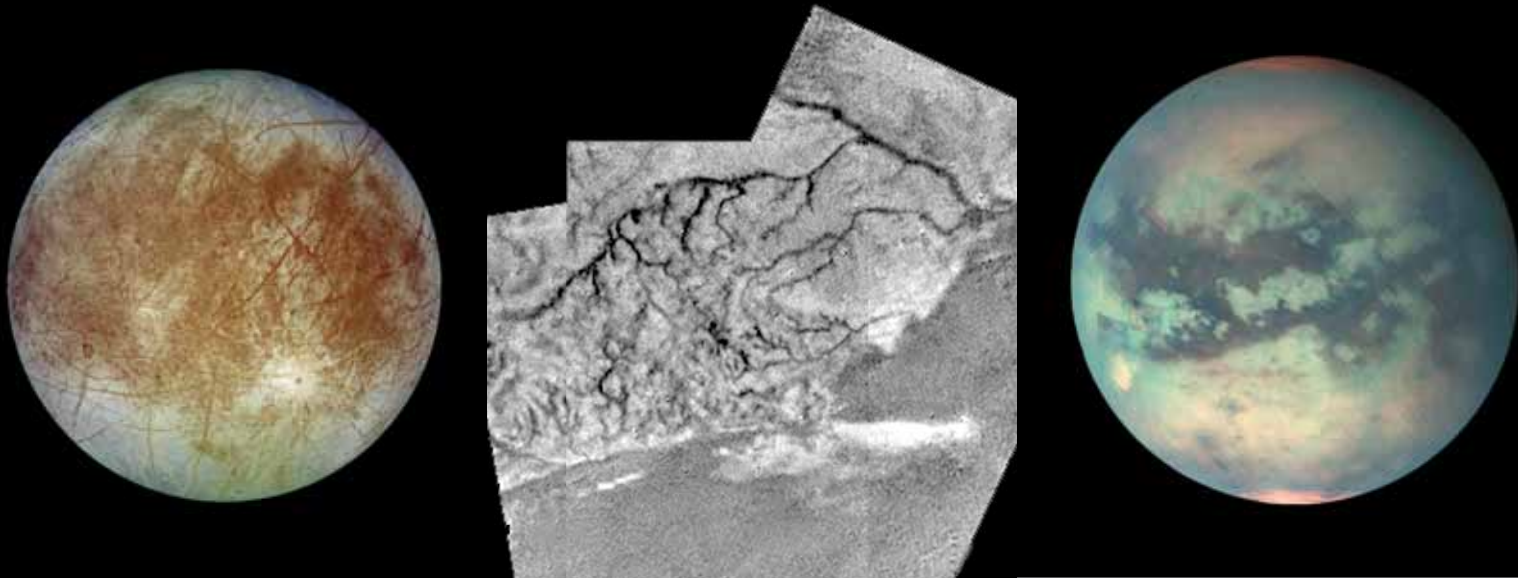
4 Durch den Austausch von Kohlendioxid und Wasser über die Plattentektonik zwischen Atmosphäre und dem Planeteninneren

Is the Earth Unique?

Surprisingly, there is no universally accepted scientific definition of what constitutes life. If one follows the words of the great thermodynamicist Ilya Prigogine who says that life is the highest form in which matter can be organised, one may wonder if, perhaps, life is the logical consequence of the evolution of planets, provided they feature certain conditions that we do not yet fully understand. How does such a planetary body come into being, and what are the conditions that encourage its life-supporting development? Could there be life-harboring planets in other solar systems, and how does life, in turn, affect planetary evolution? Could it be that life itself creates its own conditions in which it can develop optimally once the amount of biomass has crossed a critical threshold?

These questions are not easy to answer even with regard to the Earth, since our home planet is characterised by a permanent transformation of its surface by erosion and tectonics. Earth has changed continuously throughout the four and a half billion years of its existence. Hence, what it looked like in its early history is pretty well shrouded in darkness. Things are different for the Moon and Mars in that their surfaces were transformed to a much lesser extent.

On the other hand, it is thought – and with some justification – that plate tectonics, the cause of the uninterrupted geological transformation, might be a prerequisite for the evolution of life. The Earth's surface consists of seven major crustal plates that move relative to each other, with crustal matter either being newly formed or drawn into the interior along the plates' edges. Continental drift is known to be an essential phenomenon associated with plate tectonics. It forms land masses, ocean basins and shelves which have made the development of biodiversity possible. The volcanism and earthquakes it generates along the plate boundaries are also phenomena caused by plate tectonics, whose consequences are very much felt by mankind.



werden der Gehalt an Treibhausgasen in der Atmosphäre geregelt und stabile Temperaturbedingungen geschaffen. Die Erneuerung des Krustengesteins sorgt für Nachschub an mineralischen Nährstoffen, die für das Leben unerlässlich sind. Darüber hinaus kühlt die Plattentektonik das Erdinnere effektiv und ermöglicht somit die langfristige Existenz des Magnetfelds. Das Magnetfeld schützt die Erde vor den lebensfeindlichen Teilchen des Sonnenwinds sowie der kosmischen Strahlung und trägt zur Stabilität der Atmosphäre bei (siehe auch Abb. S. 7).

Den Veränderungen der Umwelt durch Prozesse im Inneren überlagert sind Wirkungen von außen durch Einschläge von Körpern aus dem Weltall. Diese können zerstörerisch, aber auch konstruktiv gewirkt haben, indem sie die Entstehung des Lebens befördert und dessen Evolution beeinflusst haben.

Es ist zwingend, dass bei der Suche nach Leben auf anderen Himmelskörpern zunächst die Nachbarplaneten der Erde ins Visier rücken. Die Venus hat zwar fast dieselbe Größe wie die Erde, doch scheint der Mars, der kleinere und weiter entfernte Nachbar der Erde, größere Ähnlichkeiten mit unserem Planeten aufzuweisen, was das Klima und dessen Entwicklung betrifft. Heute herrschen auf dem Mars zumindest in einigen ökologischen Nischen Bedingungen, die für manche Mikroorganismen der Erde, die in extremen Umgebungen überlebensfähig sind, erträglich sein könnten. Andererseits zeigen die Ergebnisse der zahlreichen Marsmissionen, dass das Klima des Mars in seiner Frühzeit wärmer und feuchter gewesen ist.

Deshalb hat sich die internationale Explorationsinitiative der Raumfahrt betreibenden Nationen und Agenturen die Suche nach außerirdischem Leben auf dem Mars zur Aufgabe gemacht. Sollte die Suche gelingen, hätte dies enorme Bedeutung über die Planetenforschung, ja über die Naturwissenschaften hinaus! Der Fund würde die Kopernikanischen und Darwinschen Revolutionen vollenden und unsere irdische Existenz in einen größeren Zusammenhang stellen. Die Erde wäre nicht nur nicht mehr der

The exchange of gases between the atmosphere and the Earth's interior resulting from plate tectonics controls the atmospheric concentration of greenhouse gases and ensures stable thermal conditions. The renewal of crustal rock secures the constant supply of life-sustaining mineral nutrients. Moreover, plate tectonics efficiently cools the Earth's interior, safeguarding the existence of the magnetic field which protects the Earth from the life-threatening particles of the solar wind as well as from cosmic radiation, besides helping to keep the atmosphere stable (see fig. on p. 7).

Beyond environmental change by processes in the planetary interior there are influences from outside, such as impacts of bodies from outer space. These may have had destructive, as well as constructive effects, in that they may have assisted with the formation of life and influenced its evolution.

An obvious step in the search for life on other planets is to begin by focussing on our Earth's immediate neighbours. It is true that Venus is almost the same size as Earth, but Mars, Earth's smaller and more distant neighbour, appears to resemble our planet more closely in terms of its climate and climatic history. The conditions prevailing on Mars today might, in some ecological niches at least, be tolerable for some terrestrial microorganisms that survive in extreme habitats. However, we have evidence from numerous missions to Mars that the planet's climate was warmer and more humid in its earlier age.

For this reason, the international exploration initiative of space nations and agencies has assumed the task of searching for extraterrestrial life on Mars. Should this search be successful, the enormous importance of the discovery would reach far beyond the boundaries of planetary research and even science itself. The find would fall in line with the Copernican and Darwinian revolutions and place our terrestrial existence in a much larger context. Not only has Earth ceased to stand at the astronomical centre of the universe, it would then no longer be considered the sole hub of our cultural universe, either.



Mittelpunkt des Universums, sie wäre auch nicht mehr der alleinige Mittelpunkt unseres kulturellen Universums.

Noch weitreichender als die Suche nach Leben auf dem Mars ist die Suche nach einer zweiten Erde in großer, astronomischer Entfernung von unserem Planetensystem. Denn es ist ja nicht auszuschließen, dass es zwischen den Körpern im inneren Sonnensystem zu einem Austausch von Lebewesen gekommen sein könnte. Sollte es Leben im äußeren Sonnensystem, zum Beispiel auf dem Saturnmond Titan oder auf fernen Planeten anderer Sterne geben, könnte man mit größerem Recht von einer zweiten Genesis sprechen. Wie aber würden wir Leben in anderen Planetensystemen entdecken? Was ist der kosmische Fingerabdruck eines belebten Planeten? Gibt es die eindeutige Signatur, den ‚rauchenden Colt‘?

Abbildung rechts: die Erde – ein komplexes System

Ein Planet wie die Erde kann als System verstanden werden, in dem mehrere Sphären zusammen wirken.

Im Zentrum der Abbildung steht der Kreislauf zwischen Biosphäre, Atmosphäre, Gesteinskruste und Hydrosphäre, der eine Vielfalt von komplexen Wechselwirkungen repräsentiert. Der mehrere tausend Kilometer mächtige Gesteinsmantel unter der Kruste ist durch Vulkanismus und Ausgasen von Kohlendioxid und Wasserdampf an diesen Kreislauf angeschlossen. Im Falle der Erde wird durch die Subduktion von Kruste als Element der Plattentektonik ein zweiter Kreislauf geschlossen, der das Planeteninnere einbindet.

Der Kreislauf der Plattentektonik erneuert Krustengestein und damit die mineralische Nährstoffbasis für Leben. Durch die Bildung von Kontinenten trägt die Plattentektonik zur biologischen Vielfalt bei. Subduktion, Vulkanismus und Ausgasen sind wesentliche Elemente des Langzeit-Kohlendioxidkreislaufs, der die Temperatur der Atmosphäre regelt und dafür sorgt, dass Wasser im Kreislauf bleibt. Die Wirkung von Wasser auf das Materialverhalten von Gestein ist wahrscheinlich der Grund warum Plattentektonik möglich ist.

Die Plattentektonik geht einher mit verstärkter, konvektiver Kühlung des Erdinneren, wodurch im metallischen Kern ein Dynamo-Mechanismus aufrecht erhalten wird. Das durch diesen Dynamo erzeugte Magnetfeld schützt das Leben gegen schädliche Strahlung und die Hydro- und Atmosphäre gegen die Erosion durch den Sonnenwind. Freilich bietet das Magnetfeld keinen Schutz gegen Einschläge von kosmischen Körpern von außen.

Der Mars steht für Planeten, denen die Plattentektonik fehlt. Solche Planeten könnten dennoch zumindest primitives Leben beherbergen.

Even more far-reaching than the search for life on Mars is our quest for another Earth at enormous astronomical distances from our own planetary system. After all, we cannot deny categorically that meteorites might have been instrumental in an exchange of living organisms between the bodies of the inner Solar System. If life should exist in the outer Solar System, on the Saturnian moon Titan or on remote planets orbiting other suns, we would be even more entitled to talk of a second genesis. But how would we discover life in other planetary systems? What is the cosmic fingerprint of a planet that has life? Is there an explicit signature, a ‘smoking gun’?

Image to the right: the Earth – a complex system

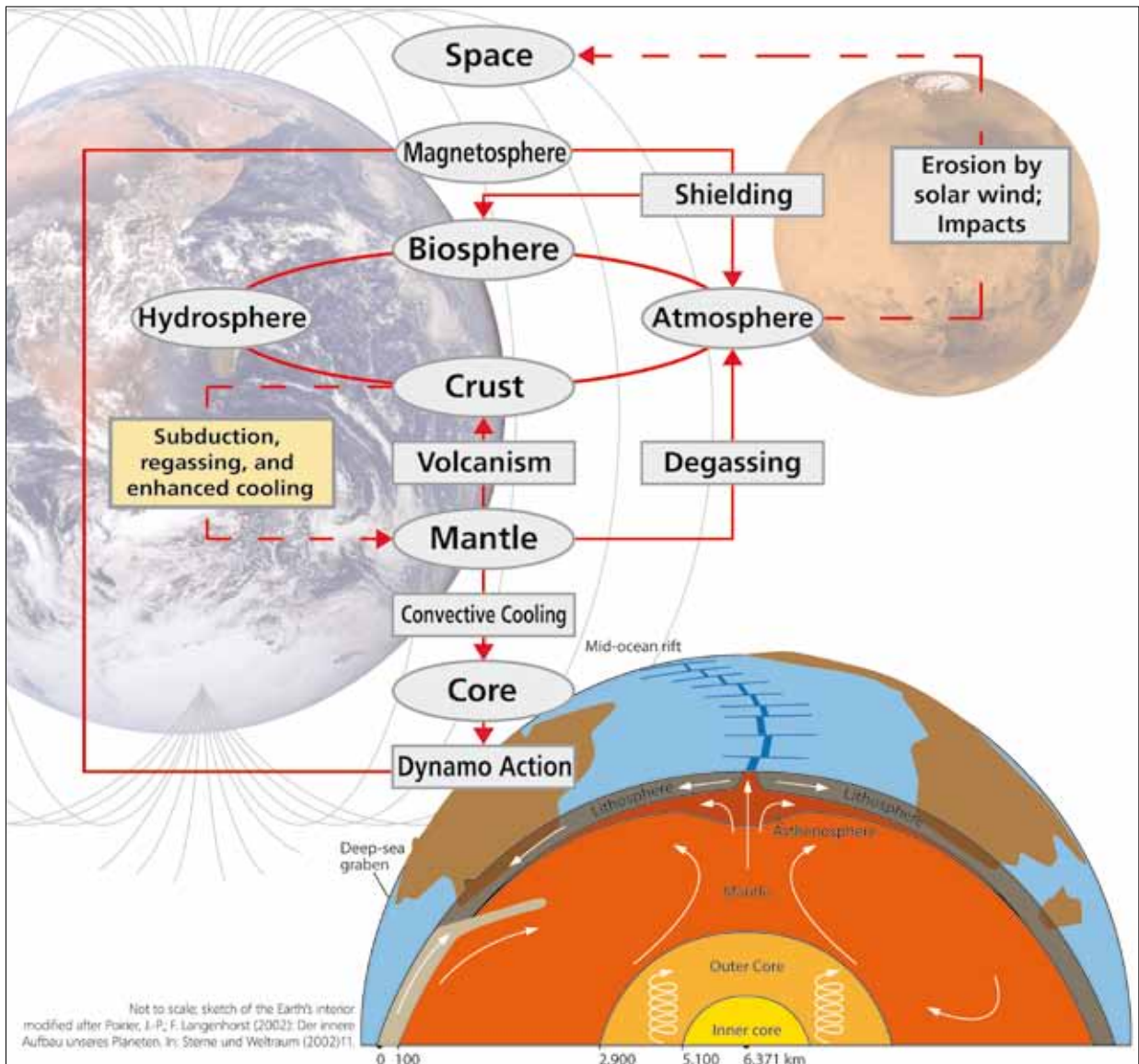
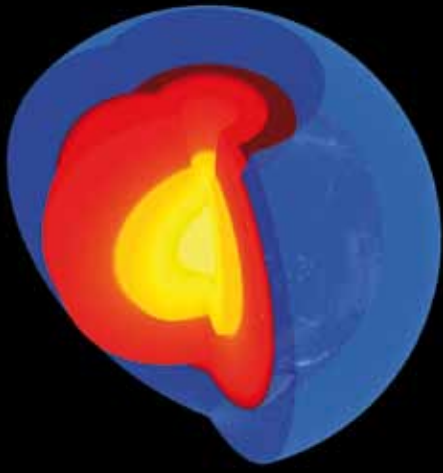
A planet like the Earth can be seen as a system in which several spheres are interacting.

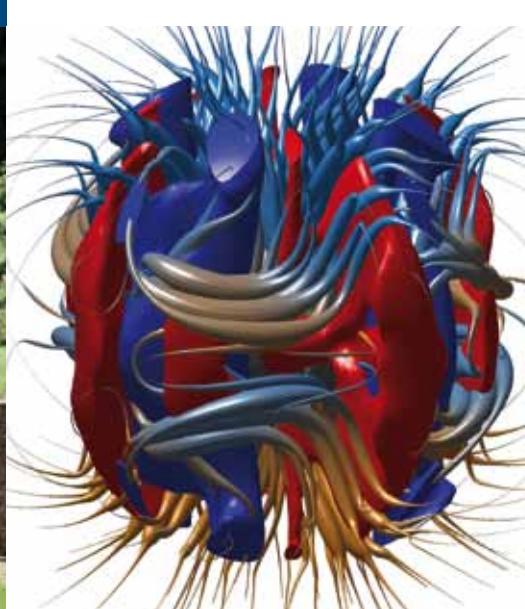
Displayed in the centre of the image is a cycle between the biosphere, the atmosphere, the rocky crust and the hydrosphere that represents a multitude of complex interactions. The rocky mantle – several thousand kilometres thick – under the crust is coupled to that cycle by volcanism and degassing of carbon dioxide and water. In the case of the Earth, subduction of crust as an element of plate tectonics closes a feedback-loop that includes the interior of the planet.

The plate tectonic cycle replenishes crustal rock and nutrients. Through the formation of continents plate tectonics helps to enforce biological diversity. Subduction, volcanism and outgassing are elements of the long-term carbon cycle that regulates the atmosphere temperature and keeps water in the system. The effect of water on the material properties of rock may be the reason why plate tectonics occurs.

Plate tectonics is accompanied with a reinforced convective cooling of the Earth’s interior. This keeps the dynamo mechanism in the metallic core functioning. The magnetic field induced by the dynamo not only is shielding life on the Earth’s surface from harmful radiation, it is also protecting the hydrosphere and atmosphere from erosion by the solar wind. Certainly the magnetic field does not offer any protection from impacts of cosmic bodies.

Mars is standing for a planet that lacks plate tectonics. Such a planet may still be habitable for at least primitive life.





Die Helmholtz-Allianz Planetenentwicklung und Leben

Die Helmholtz-Allianz ‚Planetenentwicklung und Leben‘ untersucht mit über 150 in- und ausländischen Wissenschaftlern, darunter etwa 30 Doktoranden und 20 Post-Docs, welche geologischen Bedingungen auf einem Planeten Leben begünstigen und inwiefern eine planetare Umgebung sich durch Leben verändert. Als Ausgangspunkt der Forschungsarbeiten betrachten wir Leben, welches dem auf der Erde chemisch ähnelt mit Kohlenstoffverbindungen als Grundbausteinen und Wasser als Lösungsmittel. Andere Lebensformen sind denkbar, basierend etwa auf Silizium und Kohlenwasserstoffen, stehen aber vorerst nicht im Mittelpunkt der Überlegungen. Daraus lassen sich physikalische Bedingungen für die Habitabilität ableiten, d.h. für das Potenzial eines Planeten ‚belebbar‘ zu sein. So sollte die Temperatur auf der Oberfläche eines Planeten oder in eventuellen ökologischen Nischen im Stabilitätsbereich flüssigen Wassers liegen.

Die Helmholtz-Allianz konnte im April 2008 ihre Arbeit aufnehmen. Sie ist interdisziplinär angelegt und gliedert sich in sechs Themen oder Säulen, die jeweils von einem fachlich ausgewiesenen Wissenschaftler des DLR koordiniert werden:

- Wechselwirkungen Biosphäre-Atmosphäre-Oberfläche und Entwicklung der Atmosphäre
- Wechselwirkungen Planeteninneres-Atmosphäre, Magnetfeld und Entwicklung der Planeten
- Impakte und die Entwicklung der Planeten
- Geologischer Kontext von Leben
- Wasser und Leben unter Extrembedingungen
- Werkzeuge und Strategien der Erkundung der Habitabilität von Planeten

Zu den verwendeten Methoden gehören numerische Modellierungen etwa der Entstehung von Planeten, der Klimaentwicklung und der Entwicklung von Mikroklimata, der Plattentektonik und anderer Tektoniken, der Erzeugung von Magnetfeldern und der Folgen von großen Impakten. Darüber hinaus wird im Labor die Überlebensfähigkeit von terrestrischen Mikroorganismen unter Mars- und

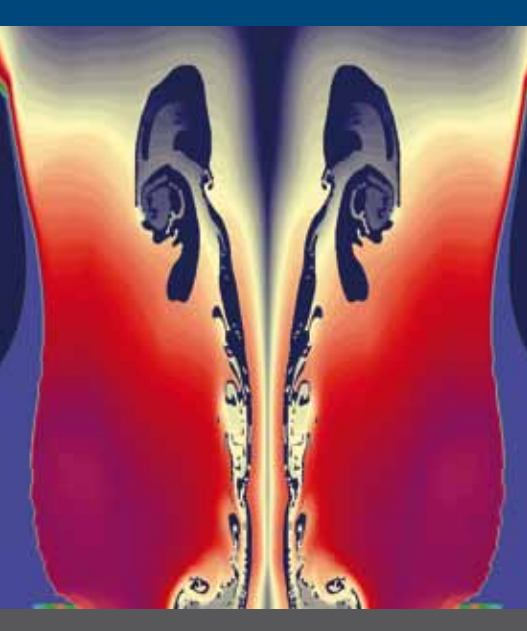
The Helmholtz Alliance Planetary Evolution and Life

With a staff of more than 150 German and foreign scientists that includes about 30 doctoral students and 20 post-docs, the Helmholtz Alliance Planetary Evolution and Life studies not only the geological conditions that support life on a planet but also the extent to which life transforms a planetary environment. As a starting point in our research, we are looking at life that is chemically similar to that on Earth, meaning that we assume that its basic components would be carbon compounds, with water as their solvent. While other life forms based on, for instance, silicon and hydrocarbons are conceivable, they are left out of consideration for the time being. Based on the aforementioned postulate, the physical conditions that govern the habitability of a planet, i.e. its potential to ‘permit’ or ‘produce’ life, can be inferred. One of these is that temperatures at its surface or in any ecological niches should be such that liquid water can remain stable.

Having started work in April 2008, this interdisciplinary Helmholtz Alliance incorporates six Topics, or Pillars, each coordinated by a credentialed scientific expert from DLR:

- Biosphere-atmosphere-surface interactions and atmospheric evolution
- Interior-atmosphere interaction, magnetic field, and planetary evolution
- Impacts and planetary evolution
- Geological context of life
- Water and life under extreme conditions
- Tools and strategies for exploring the habitability of planets

The methods used include numerical modelling of processes such as planet formation, climate development and the development of microclimates, plate tectonics and other tectonic events, the origin of magnetic fields and the outcome of major impacts. Laboratory experiments investigate the survival of terrestrial microorganisms under Martian and space conditions, the properties of interfacial water and salines as well as the general detectability of microorganisms on planetary surfaces. Geologi-



Weltraumbedingungen, die Eigenschaften von Grenzflächenwässern und Solen und die prinzipielle Entdeckbarkeit von Mikroorganismen auf Planetenoberflächen studiert. Geologische Kartier- und Feldarbeiten lassen die Umweltbedingungen auf der frühen Erde, auf Mars und Titan verstehen und habitable Gebiete des Mars eingrenzen.

Gut die Hälfte der beteiligten Wissenschaftler kommt aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) oder dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), beides Helmholtz-Zentren. Außer dem federführenden Institut für Planetenforschung sind vom DLR die Institute für Weltraummedizin, für Robotik und Mechatronik, für Hochfrequenz- und Radartechnologie, für Methoden der Fernerkundung und für Raumfahrtssysteme beteiligt. Der größere Teil der zweiten Hälfte der Wissenschaftler kommt von den deutschen, hauptsächlich den Berliner Universitäten und von Universitäten im Ausland. Den kleineren Teil dieser zweiten Hälfte bestreiten Wissenschaftler von Max-Planck-Instituten und von ausländischen Forschungseinrichtungen, wie dem Institut für Weltraumwissenschaften der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Ein international besetzter Wissenschaftlicher Beirat unterstützt die Arbeit der Allianz.

Die Helmholtz-Allianz hat sich interdisziplinär, aber bewusst mit planetenwissenschaftlichem Schwerpunkt organisiert. Damit trägt sie wesentlich zu den weltweiten Forschungsaktivitäten auf dem weiten Feld der Astrobiologie bei und fokussiert ihre Anstrengungen auf die Erkundung der planetaren Voraussetzungen für Leben. Dabei wird die Biologie, genauer die Mikrobiologie, eingebunden. Die Allianz hofft, mit ihren Arbeiten einen Beitrag zur Etablierung der Astrobiologie in Deutschland leisten zu können.

Die gesamte Helmholtz-Allianz trifft sich zweimal im Jahr. Dazwischen finden Arbeitstreffen der Fachbereiche und Arbeitspakete statt. Die so genannte ‚Allianzwoche‘ dient vornehmlich dem Austausch wissenschaftlicher Ergebnisse. Die sog. ‚Themensymposien‘ widmen sich einem ausgewählten Themenschwerpunkt der Allianzforschung. Zu den Symposia werden weltweit herausragende Forscher zu Referaten eingeladen.

cal mapping and field work shed more light on the environmental conditions of the early Earth, Mars and Titan and help constrain habitable areas on Mars.

Well over half the scientists involved come from either the German Aerospace Center (DLR) or the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI); both are Helmholtz centres. In addition to the coordinating Institute of Planetary Research at Berlin-Adlershof, the DLR Institutes of Aerospace Medicine, Robotics and Mechatronics, Microwaves and Radar, Remote Sensing Technology and Space Systems are involved as well. The greater part of the second half of the scientific personnel comes from German universities, most of them located in Berlin, as well as from universities abroad. The smaller part of that second half is composed of scientists from Max Planck institutes and foreign research facilities, such as the Institute of Space Science at the Austrian Academy of Sciences. An international Science Advisory Board is supporting the Alliance.

The Alliance has given itself an organisation that is interdisciplinary but with a deliberate focus on planetary science, which enables it to make a significant contribution to worldwide research activities in the far-flung field of astrobiology, and to focus its work on exploring the planetary prerequisites of life. Biology or, to be more precise, microbiology was included in its programme as well. In this way, the Alliance hopes to contribute to establishing astrobiology as an academic discipline in Germany.

All members of the Helmholtz Alliance meet twice a year, with Topic and Work-Package meetings held in between. An event called Alliance Week serves to exchange general scientific results. The so-called Topical Symposia are dedicated to one specific focus of Alliance research. Eminent researchers from all over the world are invited to present papers. Both events are followed by offers of training courses for doctoral students and young scientists.



Wechselwirkungen Biosphäre-Atmosphäre-Oberfläche und Entwicklung der Atmosphäre

Wie stark ist der Einfluss einer Atmosphäre für die Aufrechterhaltung von lebensfreundlichen, 'habitablen' Bedingungen? Ein Schwerpunkt der Helmholtz-Allianz ist es, den Beitrag von Gas-hüllen um Planeten abzuschätzen, beispielsweise für den frühen Mars, die junge Erde, auch im Verlauf der Entwicklung von Venus – oder für exotischere Himmelskörper wie den Saturnmond Titan oder erdähnlichen Exoplaneten: Einige dieser Planeten, die ferne Sterne umlaufen, sollten ähnliche Voraussetzungen für die Entwicklung von Leben haben.

Als Muster dient das Wissen zu atmosphärischen Prozessen auf der Erde, von der Planetenoberfläche bis zur Grenze der oberen Atmosphäre mit dem Weltraum. Die beteiligten Wissenschaftler entwickeln dazu die für unsere Planetenoberfläche existierenden Modelle weiter in Bezug auf die Kopplung mit biogeochemischen Zyklen. Dies ist wesentlich für das Verständnis des Kohlendioxidzyklus, der für die atmosphärische Temperaturregulierung eine große Rolle spielt, und für den Sauerstoffkreislauf, der für die Unterstützung von Leben auf der Erde wesentlich ist.

Ferner wird in diesem Kontext ein Modell studiert, in dem der Einfluss von Wolken auf den Strahlungstransport in der unteren und mittleren Atmosphäre bis in etwa 70 Kilometer Höhe berücksichtigt wird. Gleichzeitig wird ein weiteres Modell für den Strahlungstransport selbst verbessert und wird dadurch bei der Beobachtung spektroskopischer Merkmale von Atmosphären von großem Nutzen sein.

Mit einer 3D-Simulation werden erstmals Berechnungen zur frühen Erde mit einem hoch aufgelösten Strahlungstransport-schema erfolgreich durchgeführt. Ferner wird durch eine Modellierung die Funktionsweise von ozeanischen Schichten getestet, um den Einfluss von Meeren auf die Atmosphäre untersuchen zu können.

So werden zur Untersuchung der Vorgänge auf den benachbarten erdähnlichen Planeten Mars und Venus Modelle entwickelt, mit

Biosphere-Atmosphere-Surface Interactions and Atmospheric Evolution

How much influence does an atmosphere have on the maintenance of habitable conditions that encourage life? Among other things, the Helmholtz Alliance focuses on assessing how a planet is affected by its gaseous envelope, studying, for example, Earth in its youth, and the evolution of Venus, or more exotic heavenly bodies such as the Saturnian moon Titan or terrestrial exoplanets further afield: some of these planets that orbit distant stars should have similar conditions for the evolution of life.

The point of departure for these investigations is what we already know about atmospheric processes on Earth, from the planet's surface to the boundary between the upper atmosphere and space. For this purpose, scientists produce 'upgrades' of the models that exist for the surface of our own planet by coupling them with biogeochemical cycles. This is essential for our understanding of the carbon dioxide cycle which plays an important part in the regulation of the atmospheric temperature. It is also important for our understanding of the oxygen cycle on which the support of life on Earth essentially depends.

Another model is being studied in this context which maps the influence of clouds on the transport of radiation in the lower and middle atmosphere up to an altitude of approx. 70 kilometres. At the same time, a further model is being developed that simulates radiation transport itself, which will be very helpful in observing the spectroscopic characteristics of other atmospheres.

Recently a high-resolution 3-D radiation transport simulation was for the first time successfully used in calculations relating to the early Earth. Furthermore, the functioning of the ocean layers has been modelled to study how the oceans affect the atmosphere.

To examine what is happening on our terrestrial planetary neighbours, Mars and Venus, models were developed to investigate local processes and the way in which they differ from those on Earth. These models showed, for example, that the hot oxygen corona around Venus is less dense than hitherto assumed. At the



denen die Prozesse oder aber die Unterschiede zur Erde besser verstanden werden. Dabei stellt sich heraus, dass zum Beispiel die heiße Sauerstoffkorona der Venus weniger dicht ist als bisher angenommen. Und die Modellierungen für die Atmosphäre des Exoplaneten Gliese 581d haben ergeben, dass dort die Temperaturen moderat genug sein müssten, um die Existenz von Wasser im flüssigen Aggregatzustand zu ermöglichen – damit ist der ferne Sternbegleiter möglicherweise ein vielversprechender Kandidat für einen ‚habitablen‘ Planeten.

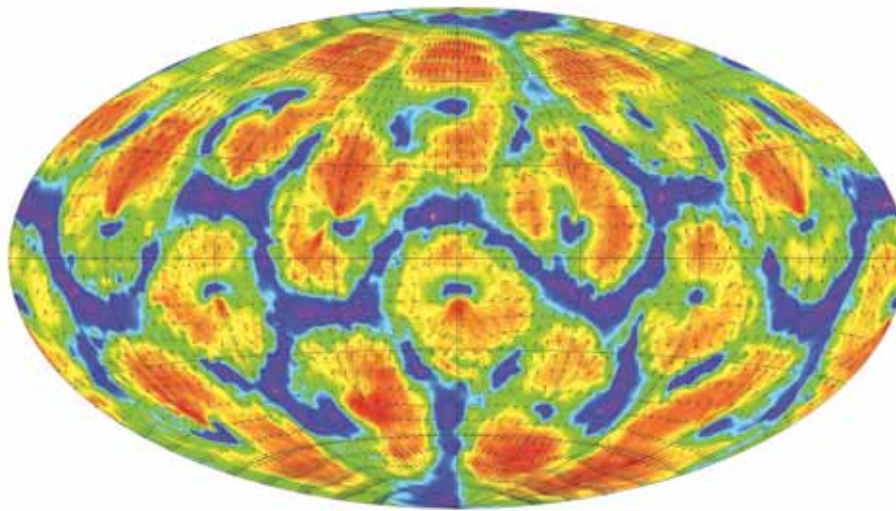
Der Stoffwechsel von Organismen bewirkt nicht nur auf der Erde, sondern auch auf einem hypothetischen ‚belebten‘ Planeten Veränderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre. Zur Abschätzung der Wirkung der von Mikroorganismen erzeugten Gase findet ein intensiver Austausch zwischen den Allianz-Schwerpunkten Atmosphärenforschung und Biowissenschaften im Schwerpunkt ‚Wasser und Leben unter Extrembedingungen‘ statt. Unter anderem wird die Bedeutung des Treibhausgases Methan (CH_4) für die Atmosphäre der frühen Erde untersucht. In diesem Zusammenhang sind auch Untersuchungen der Emissionsraten von Vulkanen bedeutend, um z.B. die unterschiedlichen Entwicklungen der Atmosphären von Mars, Venus und Erde besser verstehen zu können.

same time, model simulations of the atmosphere of the exoplanet Gliese 581d demonstrated that temperatures there should be moderate enough to permit water to exist in its liquid state – which might make this satellite of a distant star a promising candidate for being habitable.

Not only on Earth but also on any hypothetical life-harboring planet, the metabolism of living organisms causes changes in the composition of the atmosphere. Under the Alliance Topic ‘Water and Life under Extreme Conditions’, an extensive exchange of information is going on between the Atmospheric Research and Bioscience divisions of the Alliance to assess the impact of gases generated by microorganisms. One of the subjects investigated is the importance of the greenhouse gas methane (CH_4) for the atmosphere of the early Earth. In this context, studies of the emission rates of volcanoes are significant because they may help us to improve our understanding of differences in the development of atmospheres on Mars, Venus, and Earth.

Prof. Dr. Heike Rauer





Wechselwirkungen Planeteninneres- Atmosphäre, Magnetfeld und Entwicklung der Planeten

Die Atmosphären der Planeten sind mit dem Planeteninneren über Wärme- und Massenaustausch verknüpft. Der Transfer erfolgt von innen nach außen durch vulkanische Gase, die im langperiodischen Kohlenstoffzyklus der Erde eine wichtige Rolle spielen. Dort erlaubt die Plattentektonik eine Rückführung von flüchtigen Bestandteilen, indem in Sedimentgestein gebundenes Wasser und Kohlendioxid in den so genannten Subduktionszonen, wo die tektonischen Platten, in den Erdmantel abtauchen, in das Erdinnere geführt werden. Mikrobielle Lebewesen spielen dabei eine katalytische Rolle. In den Sedimentbecken sorgen sie für eine effektive Bindung des Kohlendioxids und des Wassers im Sedimentgestein.

Plattentektonik gilt Vielen als Voraussetzung für die Entwicklung des Lebens über primitivste Formen hinaus. Diese Form der Tektonik und die mit ihr verbundene Bildung von Kontinenten ist daher ein bedeutsames Thema in der Helmholtz-Allianz. Modellrechnungen sollen zeigen, von welchen Parametern die Stabilität der Plattentektonik abhängt. Zu den untersuchten Parametern gehören die thermodynamischen Zustandsvariablen und ihre Ableitungen (thermischer Ausdehnungskoeffizient, Kompressibilität) sowie die sogenannten Transporteigenschaften (Viskosität, thermische Leitfähigkeit, Diffusivität) und ihre Abhängigkeit von Temperatur, Druck und chemischen Potenzialen. Insbesondere die Masse der Planeten könnte über die Druckabhängigkeit dieser Parameter wichtig sein. Dies ist insbesondere im Hinblick auf andere Planetensysteme von Bedeutung, da man dort erdähnliche Planeten vermutet, die deutlich größer als die Erde sein könnten. In unserem Sonnensystem stellt die Erde den größten Gesteinskörper dar. Die Existenz eines vor kosmischer Strahlung schützenden planetaren Magnetfeldes wird für die Entwicklung von Leben über primitivste Formen hinaus für notwendig gehalten. Klar ist heute, dass die Plattentektonik für ein stabiles Magnetfeld sorgen kann.

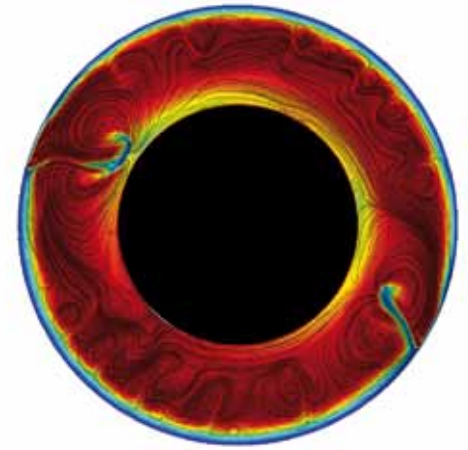
Wie bei der Erde könnte es auch bei der Venus – die heute wegen ihrer hohen Oberflächentemperaturen von ca. 450 Grad Celsius

Interior-Atmosphäre Interaction, Magnetic Field, and Planetary Evolution

A planet's atmosphere is linked with its interior through heat and mass exchange. Volcanic gases, which play an important part in the Earth's long-period carbon cycle, are transferred from the interior to the outside. Plate tectonics permit volatile components to be recycled, with water and carbon dioxide encapsulated in sediment rock re-entering the interior in the so-called subduction zones, where the tectonic plates that make up the Earth's surface slide beneath one another. Microorganisms play a catalytic role in this process by effectively capturing and bonding carbon dioxide and water in the sedimentary rock.

Plate tectonics is often seen as a precondition of the development of life beyond its most primitive forms. This makes plate tectonics and the formation of continents that has come with it a significant research topic within the Helmholtz Alliance. Model calculations are being used to find the parameters on which the stability of plate tectonics depends. The parameters to be studied include thermodynamic state variables and their derivatives (thermal expansion coefficient, compressibility) as well as the so-called transport properties (viscosity, thermal conduction, diffusivity) and their respective dependence on temperature, pressure and chemical potentials. Given that some of the parameters are pressure-dependent, knowing a planet's mass is likely to be crucial. It will be particularly important when studying Earth-analogue planets in other planetary systems, the theory being that planets to be discovered there might be considerably larger in size than the Earth. Within our own solar system, Earth is the largest rocky planet. The existence of a magnetic field that protects the planet from cosmic radiation is thought to be of relevance to the development of life beyond its early forms. It is widely understood today that what keeps the magnetic field stable is plate tectonics.

As on Earth, the planetary crust of Venus – which as a result of its high surface temperature is not habitable in the classical sense – may once have been replaced or renewed by a process akin to plate tectonics. Things are different for Mars, a so-called single-plate planet, whose outer shell, or lithosphere, permits



nicht im klassischen Sinne habitabel ist – zu einer Erneuerung von Planetenkruste durch einen der Plattentektonik verwandten Prozess gekommen sein. Anders beim Mars, einem so genannten Ein-Platten-Planeten, dessen starre äußere Hülle, die Lithosphäre, Vulkanismus aber keine Rückführung von flüchtigen Bestandteilen erlaubt. Beide Planeten hatten in ihrer frühen Entwicklung Magnetfelder erzeugt, verfügen aber heute nicht mehr über solche schützenden Felder.

Um diese Prozesse besser zu verstehen werden Modelle des inneren Aufbaus, zwei- oder dreidimensionale Modelle der Manteldynamik, der Wechselwirkung der chemischen Reservoirs und der Magnetfelderzeugung berechnet. Gleichzeitig liefern Messungen der Isotopenverhältnisse in den Gaseinschlüssen von Mars-Meteoriten Informationen über die zeitliche Variation der Entgasung unseres Nachbarplaneten. Damit lassen sich die Randbedingungen für die Modelle des Mars besser eingrenzen. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass das durch geologische Fernerkundung und durch mineralogische in-situ Messungen begründete Postulat, der Mars habe früher eine feuchtere und wärmere Atmosphäre mit moderaten Lebensbedingungen gehabt, durch Modellrechnungen nur bedingt gestützt werden kann.

In einer ganzheitlichen Modellierung werden die Wechselwirkungen der einzelnen Reservoirs Atmosphäre, Biosphäre, Lithosphäre und tiefes Innere untersucht. Dabei soll ergründet werden, inwieweit die Biosphäre die Parameter der anderen beteiligten Reservoirs so beeinflussen kann, dass die Habitabilitätsbedingungen moderater und zeitlich stabiler Oberflächentemperaturen gewährleistet sind. Dabei wird das Wasser als Lösungsmittel in Lebewesen, als Treibhausgas und als chemischer und rheologischer Agens im Planeteninneren eine bedeutsame Rolle spielen.

volcanism but no recycling of volatiles. Both planets are assumed to have generated their own magnetic fields in their earlier history but today no longer dispose of such protective fields.

Models are being generated to understand these processes more fully, looking into the interior structures, two and three-dimensional mantle dynamics, the interaction of chemical reservoirs, as well as the origin of planetary dynamos. At the same time, measuring the isotope ratios of the gases encapsulated in Martian meteorites supplies us with information about how the degassing process on our neighbouring planet has varied over time, which serves to constrain the model's boundary conditions. Results obtained so far suggest that the postulate of Mars having had a denser and possibly warmer atmosphere with moderate living conditions at an earlier age – an assumption based on geological remote sensing as well as mineralogical in-situ measurements – can be borne out by model calculations only to a limited extent.

The interaction between the reservoirs involved, i.e. the atmosphere, biosphere, lithosphere and the deep interior, is studied in a single comprehensive model. The objective is to see in how far the biosphere can influence the parameters of the other reservoirs to such an extent as to produce conditions of habitability, i.e. moderate and consistent surface temperatures. Water as a solvent in organisms, as a greenhouse gas and as a rheological agent in the planetary interior will play a paramount role.

Prof. Dr. Doris Breuer





Impakte und die Entwicklung der Planeten

Kaum ein kosmisches Ereignis wirkt bedrohlicher für das Leben auf der Erde als der Einschlag eines mehrere Kilometer großen Asteroiden oder Kometen auf unseren Planeten. Möglicherweise konnte das Leben jedoch erst durch dieses Bombardement aus dem All entstehen. Für die Helmholtz-Allianz stellt sich daher die Frage, welchen Einfluss solche Impakte in der Frühzeit des Sonnensystems auf die Entstehung der Planeten und des Lebens hatten.

Die inneren Planeten haben sich vor 4,5 Milliarden Jahren aus Zusammenstößen von Planetesimalen gebildet. In diesem Schwerpunkt wird zunächst untersucht, aus welchen Regionen des Sonnensystems die beteiligten Planetesimale stammen und welche chemische Zusammensetzung diese haben. Mit diesem Wissen kann man den Eintrag lebenswichtiger Moleküle bei der Planetenentstehung ableiten. In einem weiteren Schritt wird erforscht, ob eine vermutete signifikante Häufung von sehr heftigen Kollisionen der Erde mit Asteroiden und Kometen vor etwa vier Milliarden Jahren – also etwa zu der Zeit, als sich dann möglicherweise bald das erste Leben entwickelte – zusätzlich Wasser sowie organische Moleküle auf die Erde gebracht haben und inwieweit die Oberflächen der Planeten und ihrer Atmosphären durch diese Prozesse modifiziert wurden.

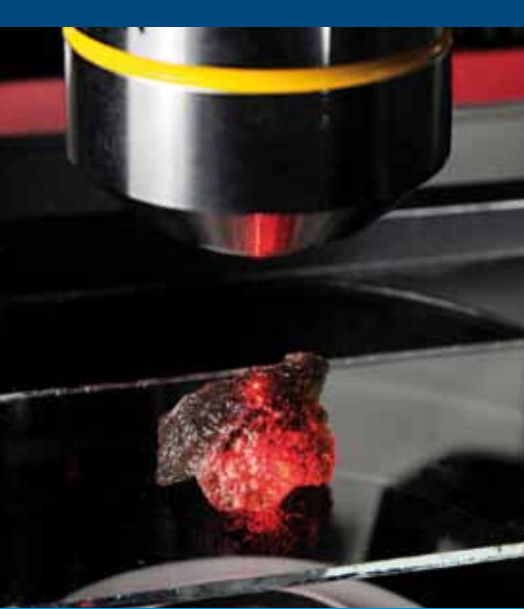
Um die chemische Zusammensetzung von Asteroiden und Kometen in Abhängigkeit von ihren Entstehungsgebieten ableiten zu können, wird mit gekoppelten hydrodynamischen und chemischen Modellen die Bildung und räumliche Verteilung lebenswichtiger Moleküle im solaren Nebel erforscht, aus dem sich die Planeten geformt haben. Um den Gesamteintrag der für Leben wichtigen Moleküle in den verschiedenen Phasen der Planetenentwicklung berechnen zu können, werden die Massenflüsse der Impaktoren abgeschätzt. Hierzu werden komplexe dynamische Simulationen durchgeführt, bei denen auch das so genannte ‚Nizza-Modell‘ Eingang findet, das von einer Wanderung der großen äußeren Planeten aus dem inneren Sonnensystem zu ihren heutigen stabilen Bahnen in der Frühzeit des Sonnensystems

Impacts and Planetary Evolution

There is hardly another cosmic event that threatens life on Earth as much as the impact of an asteroid or comet several kilometres in size. On the other hand, the very origin of life on our planet may well be the result of a bombardment from space. The question confronting the Helmholtz Alliance concerns how such impacts may have affected the early development of our planet and its life.

Planets were formed some 4.5 billion years ago by colliding planetesimals which, in turn, were formed by matter agglomerating in the primordial solar nebula. Under this Alliance Topic, models are developed to narrow down the regions of the primordial nebula in which the planetesimals might have originated, and what their chemical composition was. Once that knowledge is available conclusions can be drawn as to the influx of life-enabling molecules on the inner terrestrial planets. In another step, scientists are tracking down the suspected accumulation of highly violent impacts on Earth in the late accretion phase, about four billion years ago. At this time, when the first forms of life may already have been evolving, asteroids and comets may have brought more water and organic molecules to Earth and its neighbours, changing their atmospheres and surfaces.

To establish a relationship between the chemical composition of asteroids and comets and their areas of origin, coupled hydrodynamic and chemical models are used to calculate the formation and spatial distribution of vital molecules in the primordial solar nebula. To assess the total input of vital molecules in the various phases of planetary development, an impactor's mass flow must be estimated first. This is done with the aid of complex dynamic multibody simulations in which the orbits and movements of the planetesimals in the inner Solar System are determined by the gravity of the large outer planets that evolved from the nebula at an early stage. Any migration of these planets, possibly caused by tidal interactions with the entire swarm of planetesimals, is called the ‚Nice Model‘ and may have had a marked influence on



ausgeht: Ein fundamentaler Vorgang, der bedeutenden Einfluss auf die Verteilung der Asteroiden im inneren Sonnensystem, die Entwicklung der inneren Planeten und die Häufigkeit von Kollisionen gehabt hat.

Ferner werden mit Hilfe von 3D-Simulationen von Hochgeschwindigkeitseinschlägen die Einflüsse dieser Prozesse auf die frühen Planeten abgeschätzt. Dabei wird der Energieeintrag in den Planeten und Gashülle sowie deren damit verbundene Zustandsänderung untersucht. Besondere Aufmerksamkeit erfährt dabei die Bildung bzw. Zerstörung organischer Moleküle und die Änderung der Zusammensetzung und Dichte der Atmosphären. Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen werden insbesondere zeigen, inwieweit die massiven Einschläge von Kometen und Asteroiden während der Phase heftigen Bombardements im inneren Sonnensystem im Zeitraum von vor 4,2 bis 3,8 Milliarden Jahren die Habitabilität der Planeten verändert haben.

Mit Hochgeschwindigkeits-Stoßexperimenten wird erforscht, ob organische Moleküle und Mikroorganismen kurzzeitige hohe Temperaturen und Drücke bis 40 Gigapascal überleben können. Hierbei werden erstmals auch verschiedene Ausgangstemperaturen der Zielkörper untersucht. Erste Ergebnisse stützen die so genannte Panspermien-Hypothese, nach der sich primitives Leben im Weltraum durch Transport von (organischem) Material zwischen den Planeten ausgebreitet haben könnte.

Auch führt die Helmholtz-Allianz Feldexperimente an Impaktstrukturen auf verschiedenen Kontinenten durch, um große Einschläge in der Erdgeschichte massiven Veränderungen von Flora und Fauna zum Zeitpunkt der Einschlagsereignisse zuordnen zu können. Dies wird Aufschluss darüber geben, ob tatsächlich eine Korrelation von verschiedenen Phasen dramatischer Änderungen der Biosphäre mit Einschlagsereignissen besteht.

the distribution of asteroids in the inner Solar System, the development of the inner planets, and the frequency of collisions.

3-D simulations that model the energy released into a planet and its atmosphere and any related status changes are used to investigate the effects of high-velocity impacts on the early planets. In that context, the formation and/or destruction of organic molecules and changes in the composition and density of the atmosphere are of particular interest. The results of these model calculations should reveal the extent to which a planet's habitability may have been modified by the suspected massive bombardment by comets and asteroids in the late accretion phase 4.2 to 3.8 billion years ago.

In high-velocity shock experiments, scientists investigate whether organic molecules and microorganisms can survive transient high temperatures and pressures of up to 40 gigapascals. Target-body temperatures are being considered for the first time in these experiments. Initial results support the so-called panspermia hypothesis according to which primitive life may have spread among the planets by (organic) material being transported through space.

Model simulations are complemented by field work on impact structures on various continents, the objective being to attribute massive impacts in the Earth's history to far-reaching changes in its flora and fauna. It is hoped that this will permit further progress in answering the question of whether there really is a connection between impact events and revolutionary changes in the biosphere.





Geologischer Kontext von Leben

Leben auf der Erde, einem Planeten mit fester Oberfläche, spielt sich in geologischer Umgebung ab. Können die hier auf der Erde geltenden geologischen Bedingungen für Leben, oder zunächst für H_2O , also Wasser im flüssigen Aggregatzustand, ohne weiteres auch auf andere planetare Körper übertragen werden? Dieser Allianz-Schwerpunkt analysiert die chemischen und mineralogischen Zusammensetzungen von Planeten und Monden mit fester Oberfläche und untersucht die Natur und zeitlichen Abläufe von geologischen Vorgängen auf ihnen. Damit wird abgeschätzt, wie ‚habitabel‘ diese Himmelskörper sind und das Verständnis vom Ablauf der von innen und von außen auf eine Planetenoberfläche einwirkenden geologischen Vorgänge vertieft.

Der Fokus liegt auf der Suche nach Spuren von Wasser auf den Körpern unseres Sonnensystems. Dazu analysieren die Wissenschaftler hoch aufgelöste Bilddaten von Planeten- und Mondoberflächen, kartieren die geologischen Einheiten und versuchen, die Entwicklung der Körper in Raum und Zeit darzustellen. Zu diesem Zweck werden nicht nur neue, verbesserte geologische Karten von Schlüsselgebieten erstellt, sondern von diesen Körpern auch hoch aufgelöste globale und regionale digitale Geländemodelle aus Stereo-Bilddaten abgeleitet. Die Erschließung der dritten Dimension ist von fundamentaler Bedeutung vor allem für die quantitative Analyse von geologischen Prozessen.

Auch hier kommt dem Mars eine Schlüsselfunktion zu – zeigt dieser Planet doch in mancher Hinsicht eine ähnliche geologische Entwicklung wie die Erde. Heute ist der Mars ein trockenerer Wüstenplanet, doch der Planet hatte eine feuchtere und wärmere Vergangenheit. Um diese These auch quantitativ zu belegen, werden empirische Formeln zu Erosionsvorgängen von der Erde auf den Mars übertragen. Anhand von Modellen zu Durchflussmengen in Flusstälern konnte dargestellt werden, dass Ströme auf dem Mars, deren trockene Täler heute von einer einst intensiven fluvialen Aktivität zeugen, seit etwa dreieinhalb Milliarden Jahren nur noch in großen zeitlichen Abständen Wasser führten. Die fortwährende Auswertung von Stereobilddaten der

Geological Context of Life

Life on Earth happens in a geological environment. Can our knowledge about the geological conditions that permit the existence of life on Earth and, most importantly, of water, H_2O in its liquid state, be simply applied to other planetary bodies? This Alliance Topic analyses the chemical and mineralogical composition of the solid surfaces of planets and moons as well as examining the nature and history of geological processes and their relationship to a planet's interior and atmosphere. This will provide a clue about the number of potentially life-bearing bodies, and to understand the geological processes that shape the surface of a planet both from inside and outside.

Priority is given to the search for traces of water in our own Solar System. The accurate analysis of high-resolution images helps us identify and map geologic units on the solid surfaces of planetary bodies. This, in turn, enables us to determine the processes by which a surface has been shaped and to trace its evolutionary history in space and time. Opening up the third dimension of a landscape is of fundamental importance in this context, especially for quantitative analyses of geologic processes. For this purpose, high-resolution global and regional digital terrain models derived from stereo and laser altimeter measurements are combined with structural and mineralogical/chemical analyses.

Again, it is Mars that provides us with some essential clues; after all, the planet's geological development resembles that of Earth in several respects. While it is true that present-day Mars is an arid desert planet, it shows unmistakable traces of a more humid and possibly warmer past. In order to establish this idea quantitatively, empirical equations of erosional processes are transferred from Earth to Mars. The large river valleys on Mars compare well in size with those on Earth, with some of them being significantly larger, particularly in regions where enormous flood events have occurred. However, flow volume measurements show that, apart from an early phase, water existed on the surface only episodically, interrupted by very long dry periods. It is also thought that there has been a considerable transformation in the drainage regimes. While precipitation and surface runoff played a part in



ESA-Raumsonde Mars Express zeigte zudem, dass Eis in Form von Gletschern eine viel bedeutendere Rolle bei der Gestaltung der Oberfläche spielt, als bislang angenommen. Altersbestimmungen dieser Strukturen, die auf Einschlagskrater-Statistiken beruhen, zeigen zudem, dass Gletscher noch bis in die jüngste geologische Vergangenheit auf dem Mars vorhanden waren – sogar in äquatorialen Breiten.

Spannend in diesem Zusammenhang ist auch die Entdeckung von Kohlenwasserstoff-‘Gewässern’ auf dem eisigen Saturnmond Titan. Verzweigte Talsysteme deuten darauf hin, dass es auch auf diesem exotischen Trabanten zumindest zeitweise einen Flüssigkeitskreislauf gab oder sogar noch heute gibt. Für Wasser an der Oberfläche von Titan ist es zu kalt, aber Wasser und flüssige organische (Kohlenwasserstoff-) Verbindungen kommen dort möglicherweise auch unter der Eiskruste vor, wie vielleicht auch bei den Jupitermonden Europa und Ganymed sowie den größten Asteroiden wie z.B. Ceres. Deshalb werden auch diese Objekte einer geologischen Analyse hinsichtlich ihrer Habitabilität unterzogen. Und letztlich fließen auch durch die Untersuchung von fast wasserfreien Körpern wie dem Erdmond, dem Merkur oder dem Asteroiden Vesta geologische Informationen in die Modelle, wodurch auch Einschränkungen der Randbedingungen für Habitabilität deutlich werden.

Geologische Analogien sind ein wichtiges Hilfsmittel, um die Habitabilität planetarer Körper zu bestimmen. Mit terrestrischen Analogien zu planetaren Oberflächenprozessen und Geländeformen werden sowohl Modelle der Entwicklung von Planeten erstellt, als auch ihre gegenwärtigen Umweltbedingungen besser verstanden. Hierzu werden Forschungsreisen in extreme Habitate auf der Erde unternommen, die eine gewisse Ähnlichkeit zum Mars aufweisen, wie Island oder Spitzbergen, aber auch Vulkangebiete und heiße aride Regionen wie die Wüsten der Erde. Unser Planet dient somit als Referenzkörper zum Verständnis des Kontextes für Lebensumgebungen auf anderen planetaren Körpern.

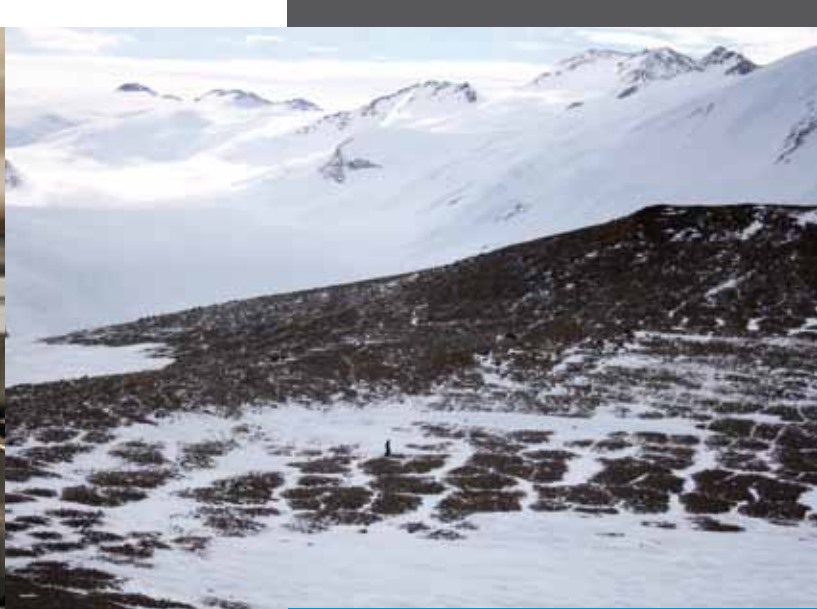
the beginning, there were more ground water outflows at a later stage. Moreover, ongoing evaluations of stereo images taken by ESA’s Mars Express space probe showed that the part played by ice in the form of glaciers in shaping the Martian surface is much more significant than previously assumed. Age calculations of Martian surface structures based on impact crater statistics clearly show that glaciers existed on Mars in the very recent geological past, even in equatorial latitudes.

Another thrilling discovery is the fact that there are standing bodies of liquid hydrocarbon on Saturn’s icy moon Titan. Dendritic valley systems indicate that a liquid cycle exists – or at least temporarily existed – on this exotic satellite. Titan’s surface is too cold for water, but water and liquid organic (hydrocarbon) compounds may be present under its icy crust, as they are possibly on the Jovian moons Europa and Ganymede and some of the larger asteroids such as Ceres. This is why these objects are also included in geological analyses with regard to their habitability. Lastly, examinations of nearly waterless bodies like the Moon, Mercury, or the asteroid Vesta provide our models with further geological information that serves to constrain the boundary conditions of habitability.

Geological analogues are an important tool to determine a planetary body’s habitability. Terrestrial analogues of planetary terrain formations and surface processes are used to generate models of planetary development as well as to improve our understanding of current environmental conditions. In this context, journeys are undertaken to explore extreme habitats on Earth that resemble Mars to a certain degree, such as Iceland or Spitzbergen, volcanos, or hot arid regions, such as the Earth’s deserts. Thus, our planet serves as a reference body for understanding the context of habitable environments on other planetary bodies.

Prof. Dr. Ralf Jaumann





Wasser und Leben unter Extrembedingungen

Morphologische Beobachtungen der Marsmissionen und mineralogisch-spektroskopische Daten von Lande-Missionen belegen eine feuchtere Vergangenheit von Regionen auf dem Mars. Forscher der Helmholtz-Allianz untersuchen, ob flüssiges Wasser unter den Temperatur- und Druckbedingungen der heutigen Marsoberfläche oder in geringen Tiefen auftreten kann. Dies würde bedeuten, dass es auch heute Habitats für Mikroorganismen auf dem Mars geben könnte. Man erwartet allerdings nur mikroskopisches Grenzflächenwasser, oder hauchdünne Wasserfilme auf Gesteinsoberflächen, die aus der Atmosphäre adsorbiert wurden.

Größere, auch makroskopisch wahrnehmbare Mengen an flüssigem Wasser könnten zum Beispiel im transparenten Eis der Polkappen des Mars vorhanden sein. Dort würde, durch eine Art Treibhauseffekt, in einigen Zentimetern Tiefe die Schmelztemperatur erreicht werden. Darüber hinaus können Salze im Marsboden den Gefrierpunkt weit unter Null Grad Celsius senken und dabei Wasservorkommen erzeugen. Beobachtungen der 2008 nahe dem Mars-Nordpol gelandeten NASA-Mission Phoenix scheinen diese Möglichkeit zu bestätigen, da in Bildern zeitweilig flüssige Salzlösungströpfchen zu sehen sind.

Die Allianzforscher überprüfen solche Hypothesen mit Modellrechnungen und Laborexperimenten und stützen ihre Ergebnisse durch Feldversuche in Mars-analogen Regionen der Erde, auf Spitzbergen und in der Antarktis. Um die Hypothese von Habitats in Solen zu stützen, muss die Salzverträglichkeit einfacher Lebensformen studiert werden. Auf der Erde gibt es so genannte „Halophile“. Ob diese auch unter Marstemperaturen leben können, ist Gegenstand der Untersuchungen. Darüber hinaus wird die Fähigkeit einzelner Organismen, Wasser mit Hilfe von „Frostschutz-“ oder „Anti-Freezing-Proteinen“ (AFP) unter dem Gefrierpunkt flüssig zu halten, in Ansatz gebracht.

In einer Marssimulationskammer werden terrestrische Extremophile wie Cyanobakterien auf ihre Lebensfähigkeit unter Marsbedingungen hin untersucht. In der Simulationskammer wird auch

Water and Life under Extreme Conditions

Morphological data obtained from Mars observations and from mineral spectroscopy conducted during landing missions suggest that certain regions on Mars seem to have had a more humid past. Helmholtz Alliance researchers investigate whether liquid water may exist on, or just below, the surface of Mars under the planet's current temperatures and pressures. This would imply a possible presence of habitats for microorganisms on Mars even today. What is expected, however, is to find no more than microscopic traces of interfacial water, or ultra-thin films of water on rocky surfaces adsorbed from the atmosphere.

Larger, macroscopically visible quantities of liquid water could, for instance, be present in the transparent ice sheets of the Martian polar caps. Warmed by a kind of greenhouse effect, this water might well reach melting temperature a few centimetres below the surface. Furthermore, salts in the Martian soil can lower the freezing point of water far below 0 degrees Celsius, thus permitting water to stay liquid. Observations made by NASA's Phoenix mission, which landed close to the Martian north pole, appear to confirm this possibility because some images show liquid droplets of brine.

Alliance researchers verify such hypotheses by carrying out model calculations and laboratory experiments, and underpin their results by exploring Mars-analogue regions in Spitzbergen and the Antarctic. To confirm the hypothetical existence of habitats in brines, simple life forms must be studied with regard to their salt tolerance. On Earth, there are organisms called halophiles. Their ability to tolerate Martian temperatures is the subject of current studies. Another area considered is the ability of some organisms to produce “anti-freeze” proteins (AFP) to keep water liquid below freezing temperature.

In a simulation chamber, terrestrial extremophiles such as cyanobacteria are tested for their capability to live under Mars-like conditions. The simulation chamber is also used to see whether the methane gas (CH_4) that has been observed on Mars from



der Frage nachgegangen, ob die auf dem Mars aus dem Orbit beobachteten Methangase (CH_4) biologischen Ursprungs sein könnten. Hierzu werden CH_4 -produzierende Mikroorganismen – Archaea aus Permafrostregionen – verschiedenen Marsparametern ausgesetzt. Es gibt weitere Kandidaten aus der Mikrowelt, die für Leben auf dem Mars in Frage kämen, und die auch in Interaktion zu den CH_4 -produzierenden Organismen stehen könnten: Zum Beispiel Bakterien, die Eisen und Schwefel verwerten und die auf Marssubstraten zunächst auf ihre Resistenz und Biofilmbildung unter Tiefsttemperaturen, Niederdruck, Strahlung und Trockenresistenz geprüft werden. Mögliche Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen, wie die Gase Methan, Kohlendioxid und Sauerstoff, werden für Modellrechnungen ermittelt, um den biogenen Einfluss auf die Atmosphärenbildung der Erde und möglicherweise auch auf andere Planeten bis hin zu Exoplaneten zu studieren.

Weltraumexperimente auf der Internationalen Weltraumstation (ISS) können helfen, nach dem Ursprung des Lebens zu suchen. Ein Experiment der Helmholtz-Allianz mit dem Namen BIOMEX soll unter anderem klären helfen, ob ein interplanetarer Transfer von Leben, beispielsweise durch Asteroiden möglich ist, wie es die Pan-Spermia Theorie behauptet. Ein zweites Weltraumexperiment mit Allianzeteiligung, BOSS, soll hierzu gezielt Biofilme unter Weltraumbedingungen untersuchen. Und schließlich wird im Labor getestet, ob Mikroorganismen den Einschlag auf der Planetenoberfläche überleben könnten.

orbit could be biological in origin. To answer this question, CH_4 -producing microorganisms, archaea from permafrost regions, are exposed to various Martian parameters. There are other candidates from the microscopic world that might be associated with life on Mars and possibly interact with CH_4 -producing organisms. There are, for example, bacteria that metabolise iron and sulphur whose resistance and ability to form biofilms is being tested on Mars analogue substrates under conditions of extremely low temperature, low pressure, radiation, and aridity. Gases produced by the metabolism of microorganisms such as methane, carbon dioxide, and oxygen provide possible baseline data for model calculations to find out more about the biogenic influence on the development of the Earth's atmosphere, and, possibly, that of other planets, even including hypothetical exoplanets.

Spaceborne experiments on the International Space Station (ISS) may be helpful in tracking down the origin of life. A Helmholtz Alliance experiment called BIOMEX is to clarify whether a transfer of life between planets by bodies such as asteroids is possible, as suggested by the panspermia theory. Along the same lines, another experiment called BOSS will investigate biofilms under space conditions. Finally, another test will address the question of whether microorganisms might survive its impact on the surface.

Dr. Jean Pierre de Vera





Werkzeuge und Strategien für die Erkundung der Habitabilität von Planeten

Dieser Schwerpunkt beschäftigt sich mit der Frage, mit welchen Methoden Spuren von vergangenem oder sogar noch vorhandenem Leben oder auch nur präbiotische Bestandteile auf anderen Himmelskörpern in unserem Sonnensystem oder jenseits davon entdeckt werden können. Welche Raumflugmissionen, Instrumente, Sensoren müssen für ihre Entdeckung und die notwendigen Messungen entwickelt werden? Wie sollen geologische, geophysikalische und (geo-)chemische Parameter erfasst werden, die einen Einfluss auf die Habitabilität haben? Um diese Fragen beantworten zu können, führt dieser Schwerpunkt Studien zu Missionen durch, für die neue Experimente und robotische Komponenten erdacht werden, die an ihrem Ziel in nicht allzu ferner Zukunft möglichst autonom ein Maximum an Messdaten liefern könnten.

Damit die Habitabilität anderer Himmelskörper untersucht werden kann, müssen sie mit Fernerkundungsinstrumenten aus einer Umlaufbahn oder besser noch in situ, vor Ort, also auf ihrer Oberfläche analysiert werden. Die Allianz beteiligt sich an der Definition und Planung solcher Weltraummissionen im Rahmen von Programmen der Raumfahrtagenturen ESA und NASA. Zwar hat die Instrumentierung von Raumsonden eine enorme Zuverlässigkeit erreicht und sorgt zum Teil für bahnbrechende neue Erkenntnisse. Aber durch die Beschränkungen bei Masse und Energie, aber auch wegen der meist extremen Bedingungen im All sind die bisherigen Experimente für die Suche nach Lebensspuren oder den dafür erforderlichen Bedingungen auf Planetenoberflächen – vergleicht man sie mit Laboratorien auf der Erde – noch nicht leistungsfähig genug.

Die hauptsächliche Überlegung ist, wie bisher noch unerforschte Umgebungen mit dem Potenzial für Leben überhaupt erreicht werden können und welche Experimente für die Suche nach Lebensspuren die besten sind. Als Ergebnis der bisherigen Studien, die Faktoren wie das zu erwartende Ergebnis, Machbarkeit, Innovation, Kosten, Risiken und öffentliche Wahrnehmung genau so in Betracht zogen wie die Vorstellungen der anderen

Tools and Strategies to Explore the Habitability of Planets

This research aims to identify methods that might be used to discover traces of past or present life or even prebiotic elements on other planetary bodies in our Solar System and beyond. What space missions, instruments, and sensors will have to be developed to facilitate these discoveries and the requisite measurements? How to detect the geological, geophysical and (geo) chemical parameters that influence habitability? To answer these questions, space mission studies are being conducted under this Topic to conceive new experiments and robotic components which, in the not too distant future, might operate as autonomously as possible to deliver a maximum of measurement data.

To investigate the habitability of another heavenly body one needs to examine it by remote sensing from orbit or, better still, in situ, meaning on their surface. The Alliance takes part in defining and planning such space missions under programmes run by two space agencies, ESA and NASA. The instruments with which space probes are equipped have been developed to a striking level of reliability, and that some of the discoveries they have been making are ground-breaking. Yet, compared to laboratory standards on Earth, the experiments conducted so far to search for traces of life or the requisite conditions on planetary surfaces are not yet efficient enough. This is partly because of the restrictions imposed on their mass and power consumption and partly because of the extreme conditions prevailing in space.

The key consideration is how hitherto-unexplored environments with a potential to harbour life can be reached in the first place, and what experiments are best suited to search for traces of life. Studies conducted so far have carefully considered factors like expected outcome, feasibility, innovation, costs, risks, and public perception as well as the input from the other Topics. Three mission proposals have emerged that the Alliance intends to pursue further. The first is a mission which is to land on Mars and use a drilling mechanism to penetrate a few metres deep into the Martian soil in order to investigate the cavities that frequently exist in cold lava flows. Another is a mission to the Jovian moon,



Schwerpunkte, wird die Allianz nun drei Missionskonzepte weiter verfolgen: Zum ersten eine Landemission zum Mars, die mit einem Bohrmechanismus einige Meter tief in den Marsboden eindringen und Höhlen untersuchen soll, die in erkalteten Lavaströmen häufig anzutreffen sind. Ferner eine Mission auf die Oberfläche des Jupitermondes Europa, unter dessen eisiger Kruste ein tiefer und vermutlich warmer Ozean existiert: Mit einer Sonde, die sich hämmernd und durch Hitze schmelzend durch die Eiskruste treibt, soll dieser Ozean erreicht und erforscht werden. Und schließlich eine Mission zum Saturnmond Titan, auf dem ein geophysikalisches Netzwerk ausgebracht werden soll, um dort die Habitabilität dieses Mondes zu erkunden.

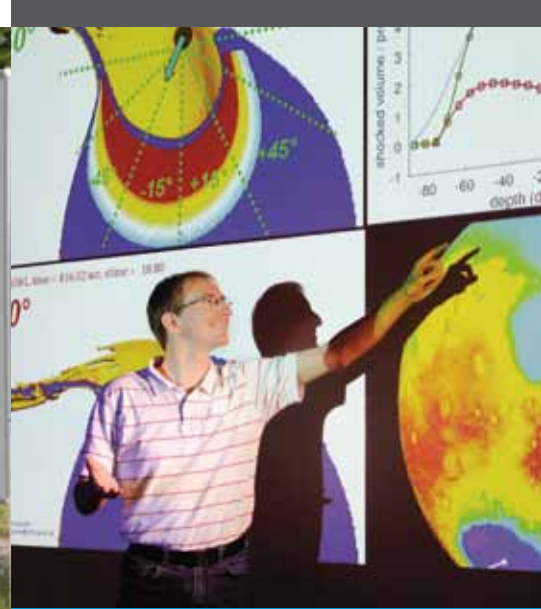
Auch für die Instrumentierung und Mobilität zukünftiger Missionen werden neue Wege beschritten. Zwar ist der Einsatz von Stereo-Panorama- und Telekamera bei der geplanten Mars-Landemission Routine, dennoch sind die Bilddaten für die visuelle Beurteilung einer Landestelle stets von größter Bedeutung. Ein Fortschritt ist, dass die mit den Kameras erzeugten Bilddaten durch die Anwendung neuer Algorithmen dem Rover helfen können, nahezu autonom seinen Weg über die Marsoberfläche zu finden. Die Allianz beteiligt sich in diesem Kontext aktuell und seit mehreren Jahren an Geländeübungen mit Kameras auf Marsrover-Prototypen in Spitzbergen. Intensiv beschäftigt sich dieser Allianz-Schwerpunkt mit der Entwicklung von neuartigen Experimenten wie Instrumenten für die Laser-induzierte Spektroskopie, Raman Spektroskopie, Terahertz-Spektroskopie und für polarimetrische Messungen. Die Tauglichkeit dieser Experimente konnte im Labor schon nachgewiesen werden; im nächsten Schritt werden sie als Nutzlast für zukünftige Missionen weiter entwickelt, wie es für die europäische Sonde ExoMars bereits getan wurde. Mit ihnen könnten beispielsweise salzhaltige Lösungen auf dem Mars auf Lebensspuren untersucht werden.

Europa, where a deep and probably warm ocean exists below an icy crust. This ocean could be visited and explored by a probe that will hammer and melt its way through the icy crust. The last mission under consideration is one to the Saturnian moon Titan, where a geophysical network will be laid out to investigate its habitability potential.

New ground is also being broken with regard to the instrumentation and mobility of future missions. The use of stereo, panoramic and tele-cameras envisaged for the future Martian lander mission is rather routine yet: The image data are of major importance in assessing the environment of a landing site. A major progress, though, is the real-time application of new algorithms on the recorded image data that will support the rover in finding its way over the Martian surface almost autonomously. In this context, the Alliance is – and has been for several years – involved in field tests with cameras mounted on Mars rover prototypes in Spitzbergen. In the same context, improved mobility concepts for rovers are being developed for missions to the surface of Mars. A great deal of work is being done under this Alliance research topic to develop innovative experiments, such as instruments for laser-induced spectroscopy, Raman spectroscopy, terahertz spectroscopy, and polarimetry. These experiments have all been validated in laboratory tests. The next step will be to develop them into payloads for future space missions in the same way as the European ExoMars probe was developed. They might, for example, check saline solutions on Mars for traces of life.

Prof. Dr. Heinz-Wilhelm Hübers





Begleitende Aktivitäten

Für den Erfolg der Helmholtz-Allianz ist der interdisziplinäre Ansatz von großer Bedeutung. Entsprechend großer Wert wird auf einen häufigen und intensiven Dialog zwischen den etablierten Wissenschaftlern und dem wissenschaftlichen Nachwuchs der verschiedenen Disziplinen untereinander gelegt.

Förderung von Nachwuchswissenschaftlern

Im Anschluss an die jährliche ‚Allianzwoche‘, die dem Austausch wissenschaftlicher Ergebnisse dient, und den ‚Themensymposien‘, können Doktoranden und junge Wissenschaftler Fortbildungsangebote für so genannte Soft Skills nutzen. Ferner ermöglicht es die jährlich stattfindende ‚Graduate Students‘ Week‘ Doktoranden, Post-Docs und Nachwuchswissenschaftlern unter ihresgleichen in entspannter Atmosphäre zu diskutieren.

Die Helmholtz-Allianz unterstützt Hochschulabsolventen und Nachwuchswissenschaftler mit gezielten Weiterbildungsangeboten. Auch Web-Tools werden für diesen Wissensvermittlungs- und Kommunikationsprozess eingesetzt. Stellenangebote erscheinen öffentlich in einer breiten, aber gezielten Verteilung auf verschiedenen Internetseiten und in den Medien. Bei der Einstellung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler legt die Helmholtz-Allianz großen Wert auf die Förderung junger Wissenschaftlerinnen. In der Helmholtz-Allianz sind fast die Hälfte der Doktoranden, ein Drittel der Post-Docs, zwei von sechs Themenverantwortlichen, sowie die administrative Koordinatorin weiblich.

Die Helmholtz-Allianz bietet Lehrveranstaltungen für Hochschulabsolventen sowie ein interdisziplinäres Netzwerk für junge Wissenschaftler. Von den Doktoranden wird erwartet, dass sie neben Grundkenntnissen in Planetologie und Astrobiologie einen naturwissenschaftlichen Studienabschluss besitzen. Allen Mitgliedern der Allianz werden im Graduiertenprogramm Grundkenntnisse in den Planetenwissenschaften vermittelt. Eine gemeinsame Vortragsreihe des DLR, der Freien Universität Berlin, der

Backbone Activities

An interdisciplinary approach is of enormous importance for the success of the Helmholtz Alliance. Therefore a frequent and intensive dialogue between the established scientists and young researchers in their early career is much appreciated and supported.

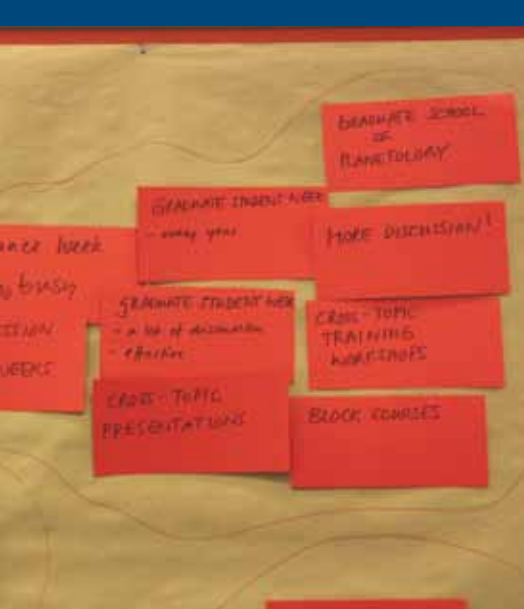
Promotion of Young Researchers

Following the ‚Alliance Week‘, which primarily serves to share scientific results, and the ‚Topical Symposia‘ graduate students and young scientists can make use of soft-skill courses offered to promote their education. The yearly ‚Graduate Students‘ Week‘ gives doctoral students, post docs and early career scientists a chance to discuss amongst their group in a relaxed atmosphere.

The Helmholtz Alliance supports graduate students and young scientists through dedicated training activities. Web tools are used for training and communication purposes. Open positions will be publicly advertised with a wide but relevant distribution on websites and with the media. In the recruiting process of young scientists the Helmholtz Alliance emphasises excellence and motivation. Promotion of female scientists is considered a particularly important issue. Almost half of the of the doctoral students, a third of the Post-Docs, two out of six topic representatives, and the administrative coordinator are women

The Helmholtz Alliance offers graduate training courses and an interdisciplinary network of young career scientists. Doctoral students joining the Helmholtz Alliance are expected to have some knowledge on the fundamentals in planetology and astrobiology but should be talented students with an education in the natural sciences. Graduate training provides basic knowledge in planetology to all members of the Helmholtz Alliance.

In Berlin a lecture series organised by DLR, Freie Universität Berlin, Technische Universität Berlin and the Museum of Natural History is covering the basic knowledge needed for interdiscip-



Technischen Universität Berlin und des Museums für Naturkunde behandelte Themen, die zum Grundwissen für die Teilnahme an der interdisziplinären Forschung der Helmholtz-Allianz gehören. Die Vortragsreihe wird auf eine E-Learning-Plattform überführt. Zusätzlich werden ‚Web 2.0-Werkzeuge‘ entwickelt wie internet-basierte Forschungsseminare und ‚Wikis‘. Von den Studierenden wird erwartet, dass sie Vorlesungen zu Planetenwissenschaften und anderen relevanten Themen an den Berliner Universitäten besuchen.

Das Qualifikationsangebot der Helmholtz-Allianz entspricht den allgemeinen Standards der Helmholtz-Gemeinschaft für wissenschaftliche Nachwuchsförderung. Es umfasst die regelmäßige Überwachung des akademischen Fortschritts, individuelle fachliche Betreuung und Unterstützung, Zusatzangebote im Bereich der Soft Skills wie das Abfassen und Präsentieren wissenschaftlicher Texte in englischer Sprache sowie ein Angebot zur Weiterqualifizierung der Programmteilnehmer in ihrem Kernfach. Die Freiheit der Forschung gilt als hohes Gut, die Einhaltung von ‚Best-Practice-Kriterien‘ ist selbstverständliche Voraussetzung. Die Teilnahme an internationalen Konferenzen wird erwartet und unterstützt.

Öffentlichkeitsarbeit

Die Existenz von Leben jenseits der Erde ist ein Thema, das weit über die Naturwissenschaften hinaus von Bedeutung ist. Die Vorstellung, dass Leben auch an anderer Stelle im Universum existieren könnte ist von philosophischer Brisanz und tiefsten menschlichen Interesse. Das erfordert, dass die Helmholtz-Allianz Ergebnisse von allgemeinem Interesse aktiv kommuniziert. So lädt die Helmholtz-Allianz regelmäßig zu Vortragsveranstaltungen ein, in denen sich Experten von inner- und außerhalb der Allianz an die interessierte Öffentlichkeit wenden. Ferner unterhält die Allianz eine öffentlich zugängliche Website mit allgemeinen Informationen unter www.dlr.de/hgf_alliance_pel.

linary research within the Helmholtz Alliance. The lecture series will be transformed to an e-learning platform. In addition, Web 2.0 tools are being developed such as internet-based research seminars and wikis. Students are encouraged to attend lectures in the planetary sciences and Helmholtz Alliance-related topics at the Berlin universities.

The training offered by the Helmholtz Alliance to graduate students conforms to the standards of the Helmholtz Association for graduate training. It includes monitoring of academic success, individual supervision and support, soft-skills training such as English-language scientific writing and presentation abilities and enhancing the hard-skills of the students. Scientific freedom is held a high value and best practice is mandatory. The students and young scientists are encouraged and supported to participate in international conferences.

Public Outreach

Life beyond Earth is a topic for humankind reaching way beyond science. The idea that life may exist elsewhere in the universe is of profound philosophical importance and of deep human interest. It is therefore imperative for the Helmholtz Alliance to actively communicate the state of knowledge about life in the universe and recent research of general interest to the public. The Helmholtz Alliance regularly offers public lectures by experts from within or outside the Alliance and maintains a publicly available web page with general information. www.dlr.de/hgf_alliance_pel.

Dipl.-Oec. Karin Eichentopf





Partner

Participating Helmholtz Centres

German Aerospace Center (DLR)
Institute of Planetary Research
Berlin-Adlershof
Institute of Aerospace Medicine
Cologne-Porz
Microwaves and Radar Institute
Oberpfaffenhofen
Remote Sensing Technology Institute
Oberpfaffenhofen
Institute of Robotics and Mechatronics
Oberpfaffenhofen
Institute of Space Systems
Bremen

Alfred-Wegner-Institute for Polar and Marine Research (AWI)
Potsdam

Participating Universities

Free University of Berlin
Institute for Meteorology
Institute for Geological Sciences

Technical University of Berlin
Institute for Astronomy and Astrophysics
Institute for Environmental Technology

Humboldt University Berlin
Museum für Naturkunde – Leibniz Institute for Research on
Evolution and Biodiversity

Westfälische Wilhelms-University Münster
Institute for Geophysics
Institute for Planetology

University Duisburg/Essen
Centre of Microscale Ecosystems, Biofilm Centre
Essen

London South Bank University
Department of Applied Science

Yale University
Geology and Geophysics Department
New Haven, USA



HELMHOLTZ ALLIANCE PLANETARY EVOLUTION AND LIFE

Participating Non-University Research Institutions

Max-Planck-Institute
Institute of Biogeochemistry
Jena
Institute of Solar System Research
Katlenburg-Lindau

Observatoire de la Côte d'Azur
Département de Cassiopée
Nice, France

Austrian Academy of Sciences
Space Research Institute
Graz, Austria

Associated Partners

Russian Academy of Sciences
Polar Geophysical Institute
Murmansk, Russia

Pennsylvania State University
Department of Geoscience
University Park, USA

Centre National de Recherche Scientifique Paris
Service d'Aéronomie
Paris, France

Centre National de Astronomie de Lyon
Ecole Normale Supérieure
Lyon, France

Technical University of Braunschweig
Institute of Theoretical Physics

University of Applied Sciences Wildau

Science Advisory Board

Dr.-Ing. e.h. Thomas Reiter, DLR Executive Board, Chair
Prof. Dr. Veronique Dehant, Royal Observatory Brussels
Prof. Dr. Frances Westall, CNRS Orleans
Prof. Dr. Fred Taylor, Oxford University
Prof. Dr. William Martin, Heinrich Heine Universität Düsseldorf

Bildlegenden

Umschlag vorn:

(Hintergrund) Einschlagskrater und Täler in Hephaestos Fossae, Mars; (Bildreihe von links) Eisen abscheidende Bakterien; Eisenmeteorit (Modell) und Skelett eines Dinosauriers im Naturkundemuseum Berlin; Eisoberfläche des Jupitermondes Europa.

Seiten 4 und 5:

(von links) Planet Erde; verästeltes System von Tälern am Krater Huygens auf dem Mars; Mars Global Surveyor-Aufnahme des Planeten Mars; Jupitermond Europa; verästeltes System von Tälern auf Titan; Infrarotaufnahme des Saturnmondes Titan.

Seiten 6 und 7:

(von links) der heiße, aber erdähnliche Exoplanet CoRoT-7b (Vordergrund); Modell des Aufbaus eines hypothetischen, erdgroßen ‚Ozean-Planeten‘; phantasievolle künstlerische Darstellung von möglichen habitablen erdähnlichen Planeten im Universum.

Seiten 8 und 9:

(erstes, drittes, fünftes und sechstes Bild von links) Inspirierende Atmosphäre während der ‚Graduate Student’s Week‘ 2010 in Wandlitz und bei der Allianzwoche in Berlin-Adlershof; (zweites Bild v.l.) Schema der Induktion eines sich selbst erhaltenden Magnetfeldes in einem Planetenkern mit um die Säulen gedrehten magnetischen Feldlinien (blau: nach innen, rot: nach außen gerichtet); (viertes Bild v.l.) Modellierung der Wasserdichte 20 Sekunden nach Einschlag eines ein Kilometer großen Asteroiden in einen 5,5 Kilometer tiefen Ozean mit dem Ergebnis einer chaotischen Pilzstruktur im Wasserauswurf.

Seiten 10 und 11:

(von links) künstlerische Darstellung des erdähnlichen Exoplaneten Gliese 581 c mit dem roten Zwergstern Gliese 581 im Hintergrund; Diskussion von Atmosphären-Modellierungen im Schwerpunkt; künstlerische Darstellung des Blicks über die Oberfläche eines terrestrisch anmutenden Exoplaneten mit Atmosphäre im Dreisternsystem HD 188753 im Sternbild Schwan.

Seiten 12 und 13:

(von links) Darstellung der Modellierung lateraler Materialbewegungen auf der Venus infolge extrem hoher Oberflächentemperaturen vor drei Milliarden Jahren (violett: 0 cm/Jahr; rot 1,5 cm/Jahr); Diskussion von Modellierungen des inneren Aufbaus der Venus; Temperaturverteilung im Mantel eines erdähnlichen Planeten mit zwei Subduktionszonen.

Seiten 14 und 15:

(von links) Gesteinsproben-Analyse im Naturkundemuseum Berlin; mit Einschlagskratern gesättigte, über vier Milliarden Jahre alte Oberfläche der Mondrückseite; Lasermikroskopie einer Meteoritenprobe; Untersuchung von Bohrkernen terrestrischer Einschlagskrater im Berliner Naturkundemuseum; der Asteroid (21) Lutetia, aufgenommen von der ESA-Sonde Rosetta im Juli 2010.

Seiten 16 und 17:

(von links) Stereo-Komparator im Kraterzähllabor an der Freien Universität Berlin zur Altersbestimmung von Planetenoberflächen; Modellierung von Deltabildung in Einschlagskratern; geschichtete, in mineralhaltigem Wasser abgelagerte Sulfatschichten in Hebes Chasma auf dem Mars; 3D-Analyse von Entwässerungssystemen auf dem Mars.

Seiten 18 und 19:

(von links) Bestückung der Mars-Simulationskammer mit einer Flechtenprobe; polygonale Strukturen im Permafrost der Antarktis; lichtmikroskopische Aufnahme eines Biofilms mit Photosynthese betreibenden Cyanobakterien; Einsetzen des Proben Tellers in die Mars-Simulationskamera.

Seiten 20 und 21:

(von links) präparierte Mars-analoge Probe für die spektroskopische Analyse mit Laser-Induced Breakdown Spectroscopy; Die Simultanentwurfseinrichtung am Institut für Raumfahrtssysteme des DLR in Bremen; (rechts) Vorbereitung von Geländeübungen in Spitzbergen mit einem für den Mars bestimmten Rovermodell.

Seiten 22 und 23:

(von links) Präsentation von Ergebnissen unter freiem Himmel bei der ‚Graduate Student’s Week‘ 2010; Vorlesung an der Humboldt-Universität Berlin; Ideensammlung von Nachwuchswissenschaftlern; Mars 3D-Ausstellung des DLR beim bundesweiten Tag der Luft- und Raumfahrt in Köln.

Umschlag hinten:

(Hintergrund) das Talsystem der Nandedi Valles auf dem Mars; (Bildreihe von links) erhöhte Oberflächen-Temperaturen am Vulkan Idunn Mons auf der Venus; Vorbereitung von Geländeübungen in Spitzbergen; Sonnenreflexion am Kraken Mare, einem Methan- oder Ethangewässer auf dem Saturnmond Titan.

Image Captions

Front cover:

(Background) impact crater and drainage valleys at Hephaestos Fossae, Mars; (from left) bacteria separating iron; iron meteorite (replica) and skeleton of a dinosaur in the Museum of Natural History Berlin; icy surface of Jupiter’s moon Europa.

Pages 4 and 5:

(from left) planet Earth; dendritic valley network on the rim of Huygens crater, Mars; Mars Global Surveyor image of planet Mars; Jupiter’s satellite Europa; dendritic valley network on Saturn’s moon Titan; infrared image of Saturn’s satellite Titan.

Pages 6 and 7:

(from left); the hot but Earth-like exoplanet CoRoT-7b (foreground); structural model of a hypothetical Earth-sized ‘ocean planet’; artist’s phantasy rendition of possible habitable terrestrial planets in the universe.

Pages 8 and 9:

(first, third, fifth and sixth image from left) Inspiring atmosphere during the ‘Graduate Student’s Week’ 2010 in the Berlin suburb of Wandlitz and at the ‘Alliance Week’ in Berlin Adlershof; (second image from left) visualisation of the induction of a self-sustained magnetic field in a planetary core with magnetic field lines (blue: inwards; red: outwards) twisted around the columns; (fourth from left) modelling of the water density 20 seconds after the impact of a one-kilometre asteroid into a 5.5 kilometre deep ocean resulting in a mushroom-like chaotic plume structure in the water cavity.

Pages 10 and 11:

(from left) artist’s rendition of the terrestrial exoplanet Gliese 581 c with its red dwarf star Gliese 581 in the background; discussion of atmosphere models in the Alliance Topic; artist’s rendition of the view over the surface of a hypothetical terrestrial exoplanet with an atmosphere orbiting the triple-star system HD 188753 in the constellation Swan.

Pages 12 and 13:

(from left) visualisation of a model of lateral mass movements on Venus due to extreme high surface temperatures three billion years ago (purple: 0 cm/year; red 1.5 cm/year); discussion of modelling of the inner structure of Venus; temperature distribution in the mantle of a terrestrial planet with two subduction zones.

Pages 14 and 15:

(from left) rock-sample analysis in the Museum of Natural History, Berlin; the impact-crater saturated, more than four billion years old surface of the Moon’s farside; laser microscopy of a meteorite sample; investigation of core samples of terrestrial impact craters in the Berlin Museum of Natural History; asteroid (21) Lutetia, imaged by ESA’s Rosetta probe in July 2010.

Pages 16 and 17:

(from left) stereo comparator in the crater-counting laboratory at the Freie Universität Berlin for age measurements of planetary surfaces; modelling of delta-forming processes in impact craters; sulphate layers deposited from brine waters at Hebes Chasma on Mars; 3D analysis of drainage systems on Mars.

Pages 18 and 19:

(from left) Mars simulation chamber with a lichen sample; polygonal permafrost structures in Antarctica; light-microscope image of a photosynthesising biofilm containing cyanobacteria; equipping the Mars simulation chamber.

Pages 20 and 21:

(from left) prepared Mars analogue sample for analysis with Laser Induced Breakdown Spectroscopy; the Concurrent Engineering Facility at DLR’s Institute of Space Systems in Bremen; (right) preparations of field tests with a rover demonstration model in Spitzbergen.

Pages 22 and 23:

(from left) presentation of results under open skies during the ‚Graduate Student’s Week‘ 2010; class lecture at the Humboldt Universität, Berlin; brainstorming of young researchers; DLR’s Mars 3D exhibition at the federal Aerospace Day in Cologne.

Back cover:

(background) valley system of Nandedi Valles on Mars; (image row from left) elevated temperatures at Idunn Mons volcano on Venus; preparation of field tests in Spitzbergen; solar reflections at Kraken Mare, a standing body of liquid methane or ethane on Saturn’s satellite Titan.

Impressum/Imprint

Published by

Helmholtz Alliance Planetary Evolution and Life

Editors

Prof. Dr. Tilman Spohn
German Aerospace Center
Institute of Planetary Research
Rutherfordstr. 2
12489 Berlin
Phone: +49 30 67055-300
E-Mail: tilman.spohn@dlr.de

Dipl.-Geol. Ulrich Köhler
German Aerospace Center
Institute of Planetary Research
Rutherfordstr. 2
12489 Berlin
Phone: +49 30 67055-215
E-Mail: ulrich.koehler@dlr.de

Design

Susanne Pieth, Ulrich Köhler, DLR

Printed by

K+L DruckenPlus GmbH Berlin

© Helmholtz Alliance Planetary Evolution and Life, 2011
All rights reserved.

Bildnachweis/Image Credits

AMASE/K. O. Storvik: p. 21 left, back cover middle
Digital Vector Maps: pp. 24-25
DLR: pp. 7, 8 all, 9 left, 9 right, 12, 13 right, 20 right, 22 left, 23 left, 23 right
DLR/Fraunhofer Institut IBMT, Potsdam: p. 19 left
DLR/GANOVEX 10: p.18 right
ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum): front cover large, p. 4 middle, 17 left, back cover large
ESO: p.10 left
ESO/L. Calcada: p.6
G. Paar/Joanneum: p.21 right
M. Köhler: front cover middle, p. 3, 8 right, 9 middle, 10 right, 13 bottom, 14 left, 15 middle, 15 bottom, 16 left, 17 right, 17 bottom, 18 left, 19 right, 19 bottom, 20 left, 21 bottom, 22 right, 23 bottom
Maarten Kleinhans (Univ. Utrecht): p.16 right
Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung: p.9 left
NASA: p.13 left, 14 right, 15 left
NASA/JPL: p.4 left
NASA/JPL-Caltech: p.11 right
NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC-Caltech): p.7 right
NASA/JPL/DLR: p.5 left
NASA/JPL/ESA: back cover left
NASA/JPL/ESA/Univ. of Arizona: p.5 middle
NASA/JPL/MSSS: p.4 right
NASA/JPL/Univ. of Arizona: front cover right, p.5 right
NASA/JPL/Univ. of Arizona/DLR: back cover right
Nina Feyh, TU Berlin: front cover left

