



Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung
Max Planck Institute for Solar System Research

Göttingen



Forschungsschwerpunkte

Die Erforschung unseres Sonnensystems steht im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Arbeiten des Instituts. Es gliedert sich in drei Abteilungen: Sonne und Heliosphäre,

für Weltraummissionen. Das Institut, hervorgegangen aus dem Max-Planck-Institut für Aeronomie, ist für diese technologisch anspruchsvollen Aufgaben hervor-



Das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung liegt in der Nähe des Nordcampus der Universität Göttingen.

The Max Planck Institute for Solar System Research can be found near the northern campus of the University of Göttingen.

Planeten und Kometen sowie das Innere der Sonne und der Sterne. Gegenstand der Forschung am Institut sind die verschiedenen Objekte des Sonnensystems. Ein großes Arbeitsgebiet betrifft die Sonne, ihre Atmosphäre, das vom Sonnenwind beeinflusste interplanetare Medium sowie den Einfluss der solaren Partikel- und Wellenstrahlung auf die Planeten. Zudem nutzen Wissenschaftler Methoden der Helioseismologie, um das Innere der Sonne und sonnenähnlicher Sterne zu erkunden. Ein weiteres Forschungsthema befasst sich mit dem Inneren, den Oberflächen, Atmosphären, Ionosphären und Magnetosphären der Planeten und ihrer Monde, sowie der Kometen und Asteroiden.

Ein wesentlicher Teil der Arbeiten beinhaltet die Entwicklung und den Bau von Instrumenten

gend ausgestattet. Erfahrene und hoch qualifizierte Fachkräfte arbeiten in gut ausgerüsteten Werkstätten, in Laboratorien für Elektronik und Optik sowie in Reinräumen. Zudem verfügt das Institut über Thermal-Vakuum-Kammern und Vibrationstest-Anlagen.

Die Auswertung und Interpretation der gewonnenen Messdaten wird von theoretischen Arbeiten begleitet. Physikalische Modelle werden erstellt und mit Hilfe numerischer Simulationsrechnungen überprüft und weiterentwickelt.

Nach Nachwuchswissenschaftler erlernen modernste Forschungsmethoden in der „International Max Planck Research School for Solar System Science at the University of Göttingen“ die in enger Zusammenarbeit mit der Georg-August-Universität Göttingen eingerichtet wurde.

Research focus

The exploration of our solar system is the central theme for the scientific research done at the Institute. It is organised in three departments: one for the Sun and Heliosphere,

one for Planets and Comets, and one devoted to Solar and Stellar Interiors.

The research focus of the Institute are the various objects within the solar system. A major area of study concerns the Sun, its atmosphere, the interplanetary medium as influenced by the solar wind, as well as the impact of solar particles and radiation on the planets. In addition, scientists employ methods of helioseismology

to explore the interior of the Sun and of sun-like stars. Another area of research involves the interiors, surfaces, atmospheres, ionospheres, and magnetospheres of the planets and their moons, as well as

of comets and asteroids.

An essential part of the activities at the Institute is the development and construction of instruments for international space missions. The Institute, as the successor to the Max Planck Institute for Aeronomy, is in an excellent position to undertake these technologically demanding tasks. Highly qualified and experienced specialists work in well-equipped workshops, in electronic and optics labs as well as in clean rooms. In addition, the Institute houses thermal vacuum chambers and vibrations test stands.

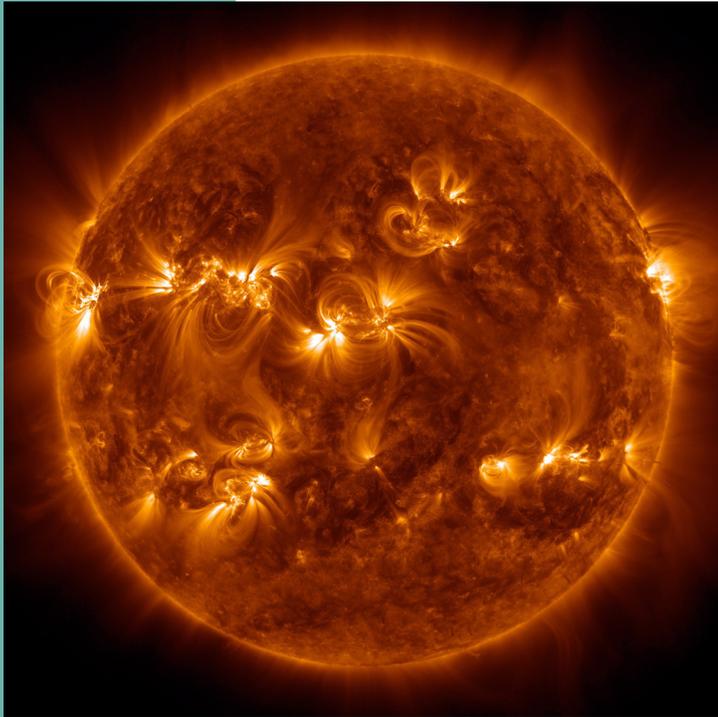
The analysis and interpretation of the acquired datasets are accompanied by intensive theoretical work. Physical models are proposed and then tested and further developed with the aid of computer simulations.

Junior scientists learn up-to-date research methods at the “International Max Planck Research School for Solar System Science at the University of Göttingen”, which has been established at the Institute in close collaboration with the University of Göttingen.



Impression aus dem Inneren des Instituts.

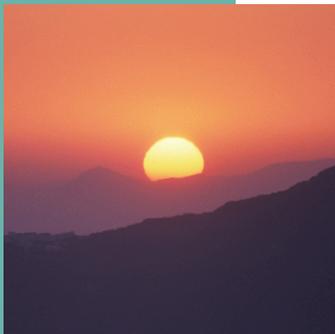
Impression of the interior of the institute.



Abteilung / Department:

Sonne und Heliosphäre Sun and Heliosphere

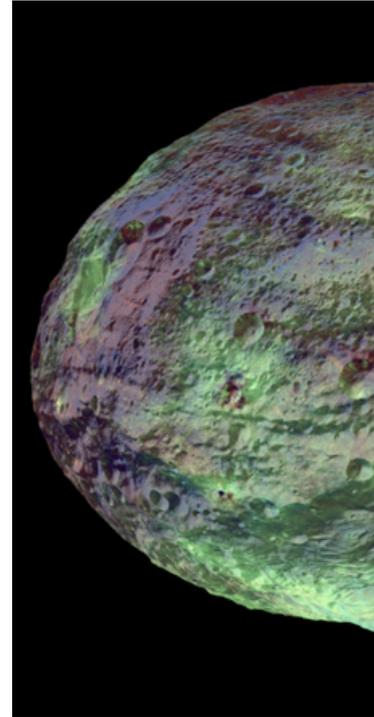
Sonnenatmosphäre, solares Magnetfeld, Heliosphäre, interplanetares Medium, Strahlung und energiereiche Teilchen von der Sonne, kosmische Strahlung.
Solar atmosphere, solar magnetic field, heliosphere, interplanetary medium, radiation and energetic particles from the Sun, cosmic radiation.



Minerva-Gruppe
Minerva Group

Solare Variabilität und Klima Solar Variability and Climate

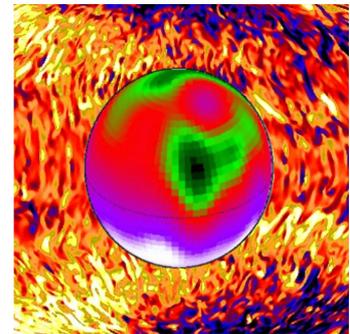
Solare Veränderungen und deren Einfluss auf das Klima der Erde.
Solar variability and its influence on the Earth's climate.



Abteilung / Department:

Planeten und Kometen Planets and Comets

Planeten, ihr Inneres, ihre Atmosphäre, Ionosphären und Magnetosphären, Monde, Kometen und Asteroiden.
Planets, their interior, surface, atmospheres and magnetospheres, moons, comets and asteroids.

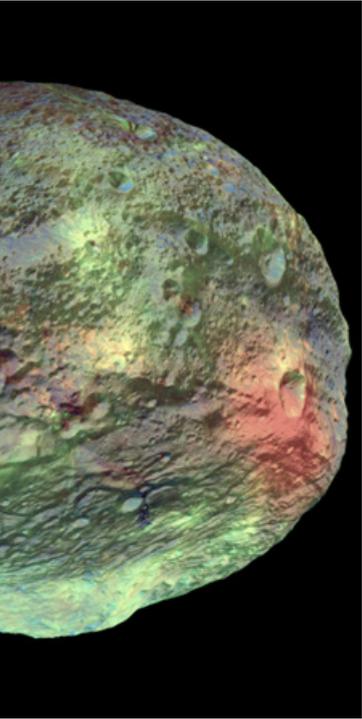


Max-Planck-Forschungsgruppe
Max Planck Research Group

Solare und Stellare Magnetosphären Solar and stellar Magnetospheres

Erforschen von Sonnen- und stellaren Magnetosphären durch Beobachtungen, Theorien, Simulationen.
Study of solar and stellar magnetospheres by observations, theory, and simulations

Departments and Research Groups



en

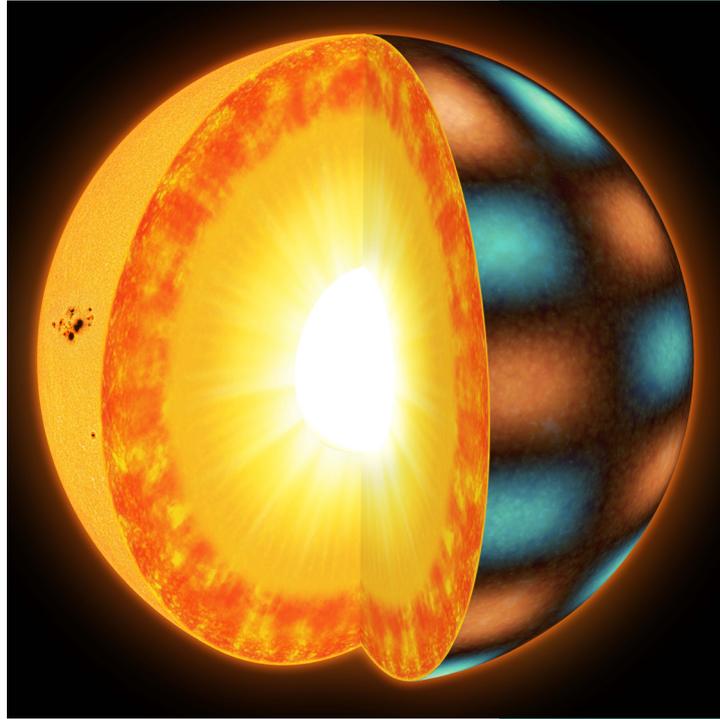
Oberflächen, Atmosphären,
sphären, ihre Ringe und
oiden.

ces, atmospheres, io-
neres, their rings and
ds.

ppe
p

Magnetische Aktivität Magnetic Activity

d Stellardynamos mit Hilfe
e und Simulationen
rnamos using observations,

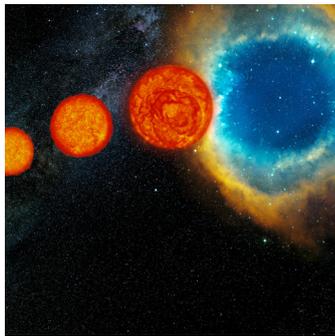


Abteilung / Department:

Das Innere der Sonne und der Sterne Solar and Stellar Interiors

Schwingungen der Sonne und Sterne; innere Dynamik
der Sonne und Sterne; Sonnenaktivität und Aktivität
der Sterne; Entwicklung von Sternen.

Solar and stellar oscillations; internal dynamics of the
Sun and stars; solar and stellar activity; stellar evolu-
tion.



ERC-Starting Grant / Max-Planck-Forschungsgruppe
ERC-Starting Grant / Max Planck Research Group

Das Alter von Sternen Accurate Ages of Stars

Bestimmen des Alters von Sternen mit Hilfe der
Asteroseismologie.

Estimating the ages of stars with the help of
asteroseismology.

Die Sonne – ein Gigant aus Gas

Die Sonne ist ein Gasball mit einem Durchmesser von 1,4 Millionen Kilometern, der hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium besteht. Im 15 Millionen Grad heißen Zen-

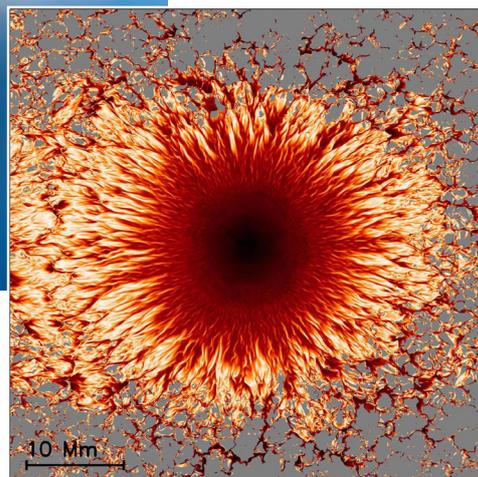
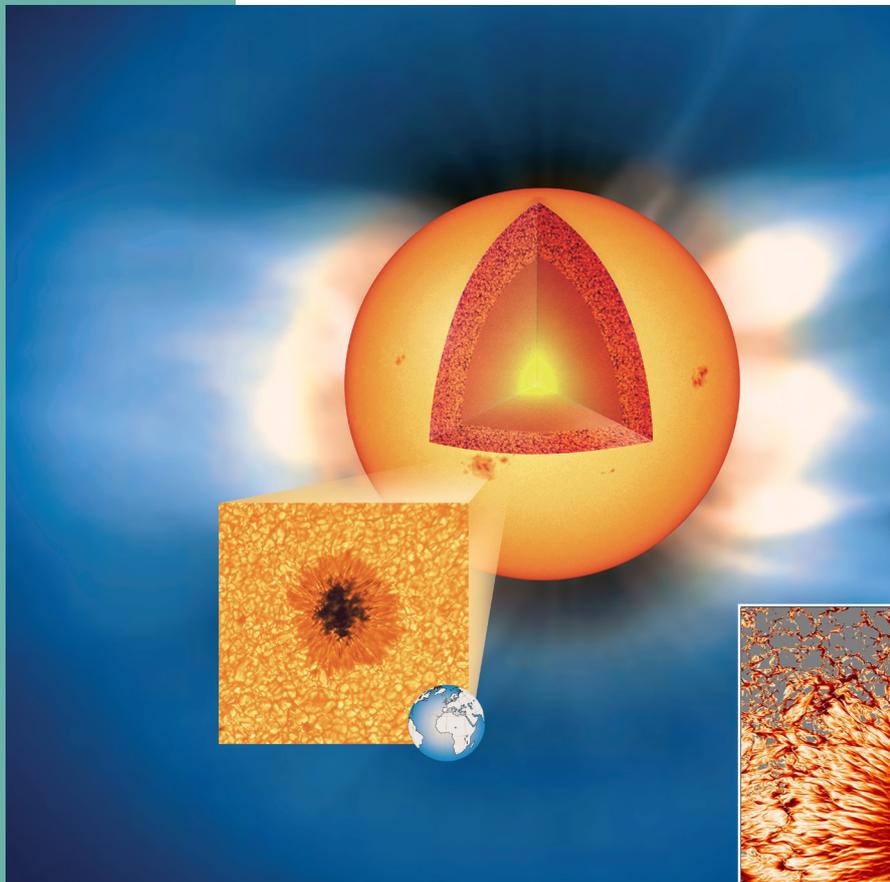
Die Forscher am MPS studieren die ganze Vielfalt der dynamischen und oft spektakulären Prozesse der Sonne. Im Brennpunkt der Forschung steht das Magnetfeld, das

bei diesen Prozessen eine entscheidende Rolle spielt. Es wird im Inneren der Sonne durch Gasströmungen erzeugt und verursacht an der Oberfläche eine Vielzahl an Phänomenen, unter anderem die Sonnenflecken. Gesucht werden Antworten auf grundlegende Fragen: Warum schwankt das Magnetfeld der Son-

Ein Blick ins Innere der Sonne: Die im Kern erzeugte Energie wird mittels Strahlung und Strömungen an die Sonnenoberfläche transportiert. Dort erzeugen starke Magnetfelder Sonnenflecken. Rechts: Momentaufnahme aus einer Sonnenflecksimulation. Dargestellt ist die Richtung des Magnetfeldes (je dunkler, umso stärker vertikal ist das Magnetfeld gerichtet).

A glimpse into the Sun's interior: the energy generated in the Sun's core is transported by radiation and currents to the surface. There, strong magnetic fields produce sunspots. Right: Snapshot of a sunspot simulation. Shown is the direction of the magnetic field (the darker, the more vertical the field).

Magnetfeldstruktur der Korona. Structure of the magnetic field in the corona.

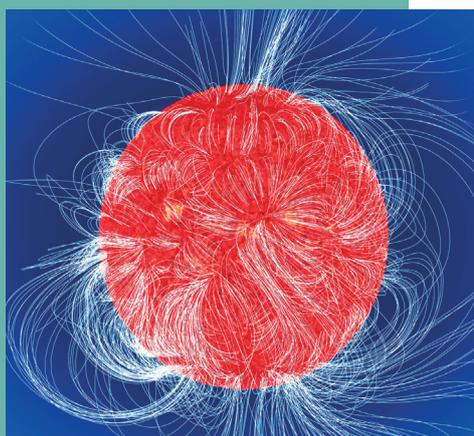


trum verschmelzen die Kerne von Wasserstoffatomen zu Helium. Die dabei frei werdende Energie wird durch Strahlung und Strömungen bis zur sichtbaren, 6000 Grad heißen Sonnenoberfläche transportiert und dort in den Welt- raum abgestrahlt.

In der weit ausgedehnten äußeren Sonnenatmosphäre (Korona) nimmt die Temperatur wieder auf mehr als eine Million Grad zu. Das heiße Gas der Korona bleibt überwiegend im Magnetfeld der Sonne wie in einem Käfig gefangen. Ein Teil des Gases entweicht jedoch und strömt als Sonnenwind mit einer Geschwindigkeit von bis zu drei Millionen Kilometern pro Stunde durch den interplanetaren Raum.

ne in einem elfjährigen Rhythmus? Wie erzeugt das Magnetfeld die vielfältigen Strukturen? Wie wird die Korona auf mehrere Millionen Grad aufgeheizt?

Grundlegend neue Erkenntnisse über die Sonne haben am Institut (mit-)entwickelte Instrumente an Bord der Raumsonden SOHO und STEREO geliefert. So wurde durch Messungen des Spektrometers SUMER auf SOHO die entscheidende Rolle des Magnetfeldes bei dynamischen Prozessen erkannt, während STEREO erstmals 3D-Beobachtungen der Sonne und der inneren Heliosphäre erlaubt.

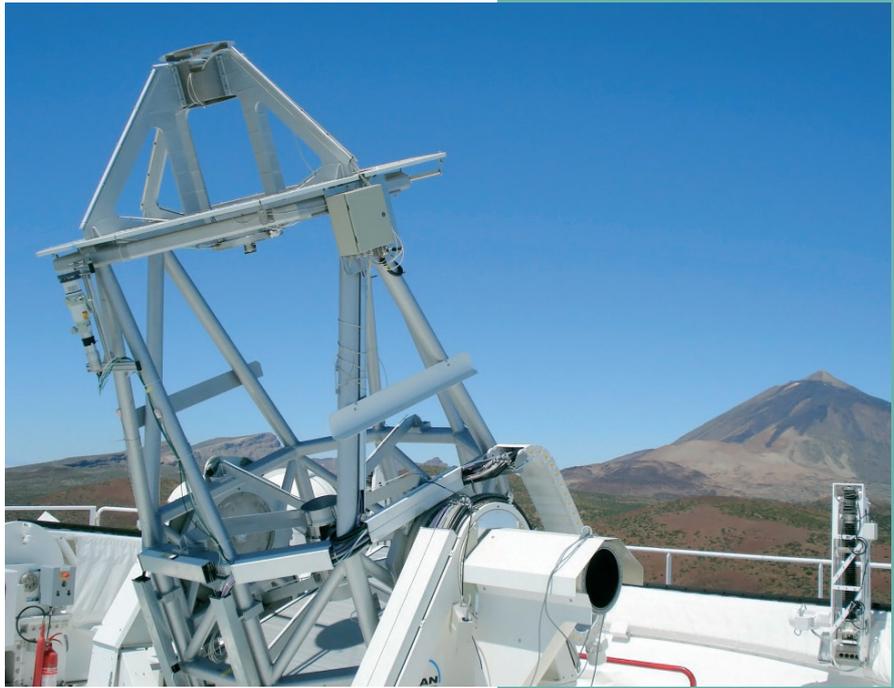


The Sun – a gaseous giant

The Sun is a huge ball of gas 1.4 million kilometers in diameter, consisting primarily of hydrogen and helium. At its center, with a temperature of 15 million degrees Centigrade, hydrogen nuclei combine to form helium. The energy released in this process is transported by radiation and gas currents (convection) to the visible surface, at 6000 degrees, from where it is radiated into space.

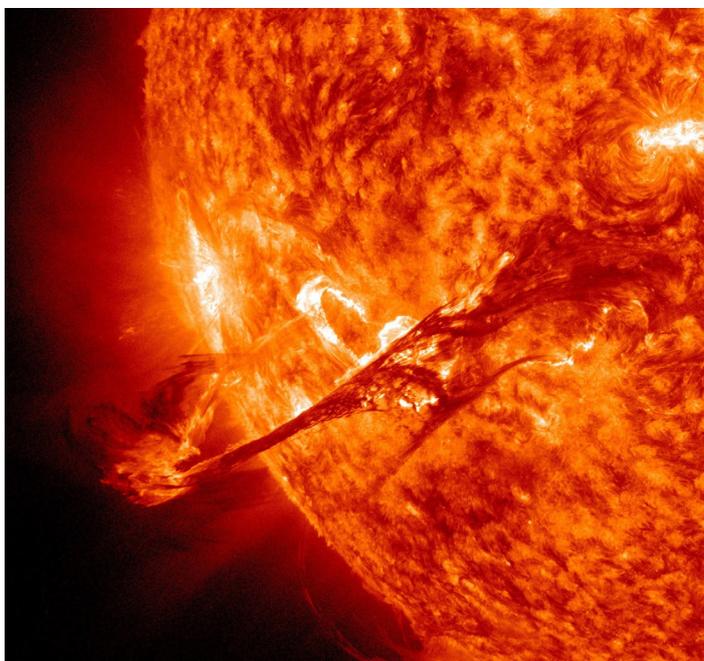
In the extremely extensive outer solar atmosphere (corona) the temperature once more increases, to over a million degrees. The hot coronal gas is predominantly trapped by the Sun's magnetic field, as if in a cage. However, some of this gas can escape and streams outwards as the solar wind into interplanetary space, with a speed of up to three million kilometers per hour.

Researchers at the MPS are studying the complete range of dynamic and often spectacular processes occurring on the Sun. At the heart of this research is the magnetic field which plays a decisive role in these processes. It is generated by gas currents in the interior of the Sun and causes a variety of features to appear on the solar surface, among them the dark sunspots. Answers to the following questions are being sought: Why does the magnetic field fluctuate with a cycle of eleven years? How does the magnetic field produce the various structures on the Sun? By which processes is the corona he-



*Sonnenteleskop GREGOR auf Teneriffa.
Solar telescope GREGOR on Teneriffe.*

ated to many millions of degrees? Instruments (co-)developed by the Max Planck Institute for Solar System Research aboard the spacecrafts SOHO and STEREO have provided fundamentally new insights: measurements of the spectrometer SUMER on board SOHO played a decisive role in recognizing the significance of the magnetic field for dynamic processes and STEREO allowed the first 3D observations of the Sun and the inner heliosphere.



Ein langes, magnetisches Filament wird am 31. August 2012 von der Sonne weggeschleudert. Von dieser Eruption stammende Teilchen trafen die Erde am 3. September und erzeugten wunderschöne Polarlichter.

A long, magnetic filament is ejected from the Sun on August 31st, 2012. Particles from this eruption hit Earth on September 3rd generating beautiful aurora.

Die Sonne – ein Stern, der Leben spendet

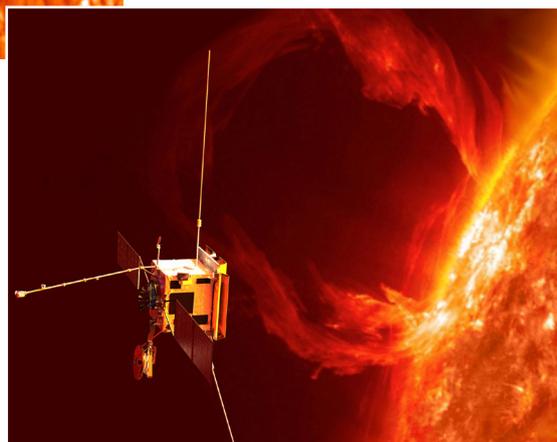
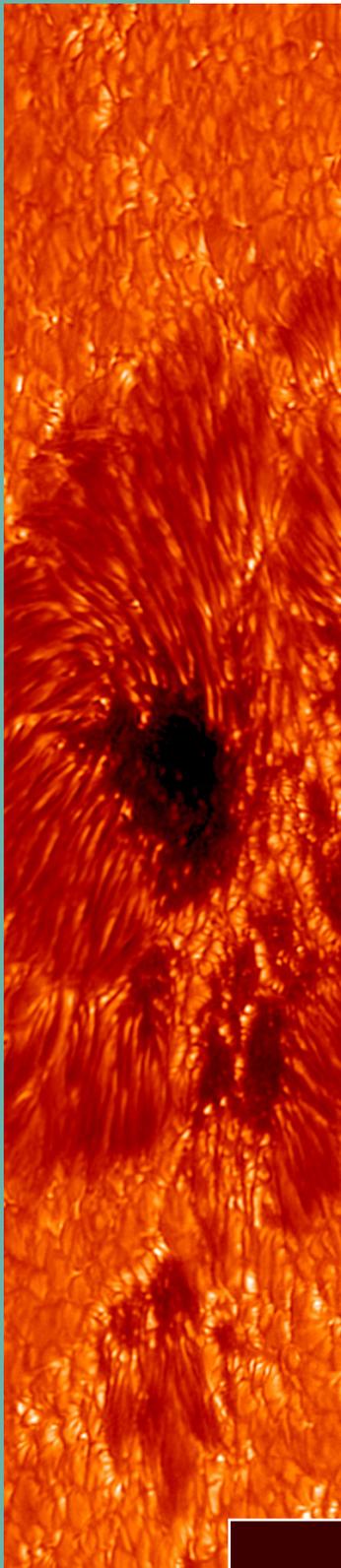
Mit ihrer Strahlung liefert die Sonne Wärme und Licht, ohne die es auf der Erde kein Leben geben würde. Veränderungen auf der Sonne können daher immer auch Auswirkungen auf die Biosphäre der Erde haben. Messinstrumente auf Satelliten zeigen, dass die Gesamthelligkeit der Sonne im elfjährigen Zyklus ihres Magnetfeldes um etwa 0,1 Prozent schwankt. Obwohl diese Veränderung nur gering ist, kann sie das empfindliche Gleichgewicht des Erdklimas beeinflussen. Gewaltige Eruptionen auf der Sonne schleudern Wolken aus Gas und Magnetfeldern in den Weltraum und auch in Richtung Erde. Besonders starke Sonnenstürme können den natürlichen Schutzschild des Erdmagnetfelds durchbrechen und so zu Polarlichtern führen. Die Stürme können aber auch den Funkverkehr beeinträchtigen und Satelliten und Hochspannungsleitungen beschädigen. Wie

die schwankende Aktivität der Sonne die Erde beeinflusst, ist ein wichtiges Forschungsthema am Institut.

Die physikalischen Prozesse bei der Entstehung und der Entwicklung der Magnetfelder der Sonne spielen sich auf sehr kleinen Skalen ab und erfordern daher Messungen mit sehr hoher räumlicher Auflösung. Das unter Leitung des Instituts entwickelte Teleskop Sunrise hat an einem Ballon aus einer Höhe von etwa 35 Kilometern die Struktur des Magnetfelds auf der Sonnenoberfläche bei bisher zwei Flügen in den Jahren 2009 und 2013 mit einer vorher nicht erreichten Detailgenauigkeit untersucht.

Bei der ehrgeizigen ESA-Mission Solar Orbiter, an der das Institut wesentlich beteiligt ist, wird eine Sonde, die im Jahr 2017 starten soll, bis auf fast ein Viertel des Abstands Erde-Sonne an unseren Stern heranfliegen und das Magnetfeld und seine Auswirkungen in den verschiedenen Schichten der solaren Atmosphäre und dem interplanetaren Raum untersuchen. Theoretische Arbeiten, insbesondere auf Basis numerischer Simulationen solarer Dynamoprozesse und magnetohydrodynamischer Prozesse in Konvektionszone und in Atmosphäre der Sonne, sind dabei wesentlich, um aus den Messdaten ein konsistentes Bild der physikalischen Vorgänge zu gewinnen.

*Ein Sonnenfleck – aufgenommen mit dem Swedish Solar Telescope (La Palma, Kanarische Inseln).
A sunspot – recorded with the Swedish Solar Telescope (La Palma, Canary Islands).*



*Ab 2020 wird die Raumsonde Solar Orbiter die Sonne aus einer Entfernung von fast einem Viertel des Abstandes zwischen Erde und Sonne erforschen.
Beginning in 2020, the spacecraft Solar Orbiter will investigate the Sun from a distance of almost one fourth of the Earth-Sun separation.*

The Sun – a life-giving star

The Sun's radiation brings us warmth and light, without which there would be no life on Earth. For

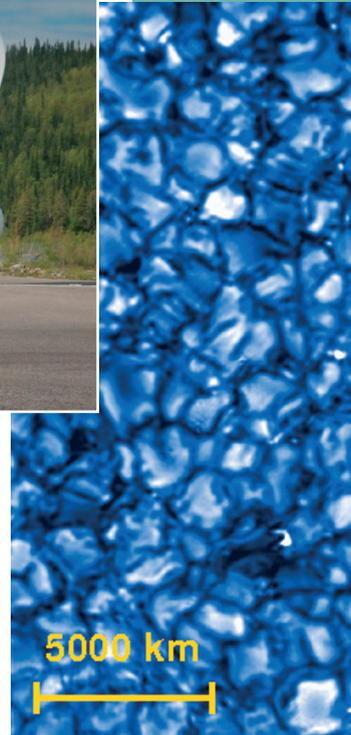
this reason, any changes on the Sun may have an impact on the terrestrial biosphere. Measurements by satellite-borne instruments reveal that the solar brightness of the Sun varies by 0.1 percent during the eleven-year cycle of the magnetic activity.

Although this is a very small change, it can influence the delicate balance of the Earth's climate. Violent eruptions on the Sun eject clouds of gas and magnetic fields into space and towards the Earth. Particularly strong solar storms can pierce the Earth's natural magnetic shield, leading to increased auroral activity and even to disturbances in radio transmissions and to damage to communications satellites and power lines. The influence of the Sun's variable activity on the Earth is therefore an important research topic at the Institute.

The physical processes involved in the origin and development of magnetic fields on the Sun take place on very small scales and therefore require measurements with very high spatial resolution. During its two flights in the summer of 2009 and 2013, the balloon-borne telescope Sunrise, built under Institute leadership, has observed the Sun from a height of 35 kilometers and was able to explore the structure of the magnetic field

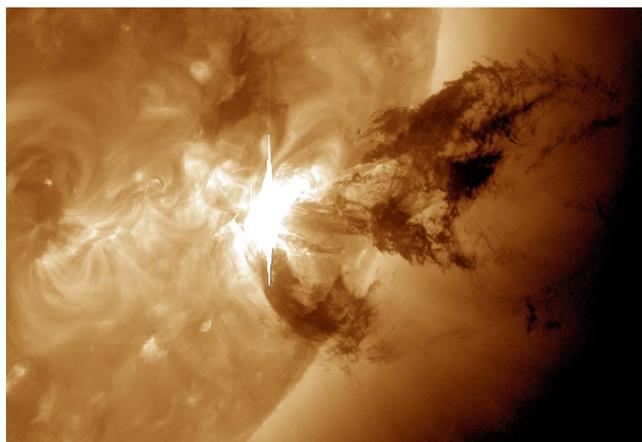
on the solar surface at an unprecedented level of detail.

The institute is also strongly invol-



ved in the ambitious Solar Orbiter Mission of ESA. This space probe, scheduled for launch in 2017, will approach our star to within almost a fourth of the Earth-Sun distance in order to investigate the magnetic field and its effects in the various layers of the solar atmosphere and interplanetary space.

Theoretical work, in particular based on numerical simulations of solar dynamo processes and magnetohydrodynamical processes in the convection zone and the atmosphere of the Sun, are essential in order to gain a consistent picture of the physical processes from the measurement data.



Das ballongetragene Sonnenteleskop Sunrise (links der Start im Juni 2009) lieferte Aufnahmen der Sonnenoberfläche im UV-Licht mit einer bis dahin unerreichten Auflösung von nur 70

Kilometern (unten).

Von der Auswertung der Daten des sechstägigen Fluges haben die Wissenschaftler vielfältige neue Erkenntnisse über die physikalischen Prozesse auf der Sonnenoberfläche gewonnen.

The balloon-borne solar telescope Sunrise (left: launch in June 2009) has delivered images of the Sun's surface in ultraviolet light with the previously unmatched resolution of only 70 kilometers (below). Data analysis from the six-day

flight has given scientists new insights into the physical processes on the Sun's surface.

Ein solarer Flare (weißer Blitz) mit einem spektakulären koronalen Massenauswurf (CME, dunklere Materie). A solar flare (white flash) with a spectacular coronal mass ejection (CME, darker material).

Die ungleichen Geschwister der Erde

Die Planeten in unserem Sonnensystem zeigen zwar viele Gemeinsamkeiten, weisen aber auch erstaunlich Unterschiede auf. Manche besitzen ein Magnetfeld, andere nicht. Vulkanische Aktivität ist auf den Planeten mit Gesteinsmantel und auf den Monden weit verbreitet. Sich bewegende Kontinentalplatten findet man wiederum nur auf der Erde. Flüssiges Wasser, eine wichtige Voraussetzung für Leben, gab es einst auch auf dem Mars jedoch nicht auf der Venus. Auf den Jupitermonden Europa und Ganymed könnte unter einer dicken Eiskruste ein tiefer Ozean verborgen liegen. Woher kommen diese Unterschiede? Warum sind die Lebensbedingungen gerade auf der Erde so freundlich? Gibt es Leben auf anderen Himmelskörpern? Diesen Fragen gehen die Wissenschaftler am MPS mit unterschiedlichen Methoden nach.

Das Institut entwickelt wissenschaftliche Instrumente, die auf Raumsonden zu anderen Planeten fliegen. Hochspezialisierte Kameras haben etwa den Saturnmond Titan untersucht, analysieren die Marsoberfläche und erforschten die Wolken und Winde auf der Venus. Mikrowelleninstrumente wie etwa das Submillimeter Wave Instru-

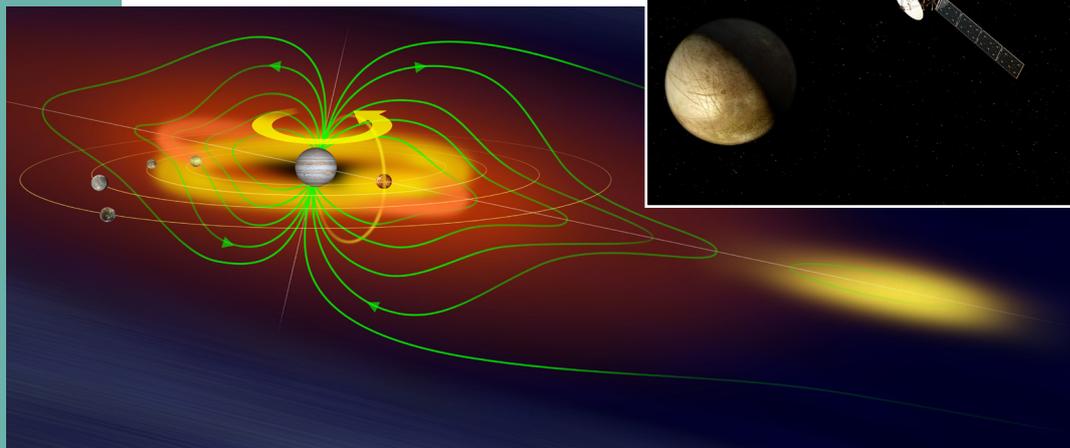
ment, das an Bord der Raumsonde JUICE das Jupitersystem erforschen soll, entschlüsseln die Zusammensetzung der Atmosphären und Infrarotspektrometer bestimmen die Gesteine der Oberflächen der Jupitermonde. Ein neuartiger Laser-Höhenmesser auf dem Satelliten BepiColombo wird die Topographie des Merkurs auf einen Meter genau kartieren. Weitere MPS-Instrumente identifizieren die Atome, die Elektronen und den Staub, die sich um die Planeten bewegen und auf ihre Monde treffen. Dabei ist der Einfluss des Sonnenwindes auf die Atmosphäregase von besonderem Interesse.

Theoretische Arbeiten und aufwändige Computersimulationen helfen dabei, die Vorgänge im Inneren und in der Umgebung von Planeten zu verstehen und die gemessenen Daten einzuordnen. Die Modelle, die am MPS entwickelt werden, beschreiben dabei etwa die Wechselwirkung mit dem Sonnenwind, die Dynamik der Atmosphären oder die Erzeugung des Erdmagnetfeldes durch Strömungen im Eisenkern unseres Planeten.



Die Cassini-Huygens-Mission untersucht Saturn und seine Monde. Eine MPS-Kamera landete auf der Oberfläche des Mondes Titan und lieferte diese Bilder. The Cassini-Huygens Mission investigated Saturn and its moons. A MPS camera landed on the surface of the moon Titan and sent back this picture.

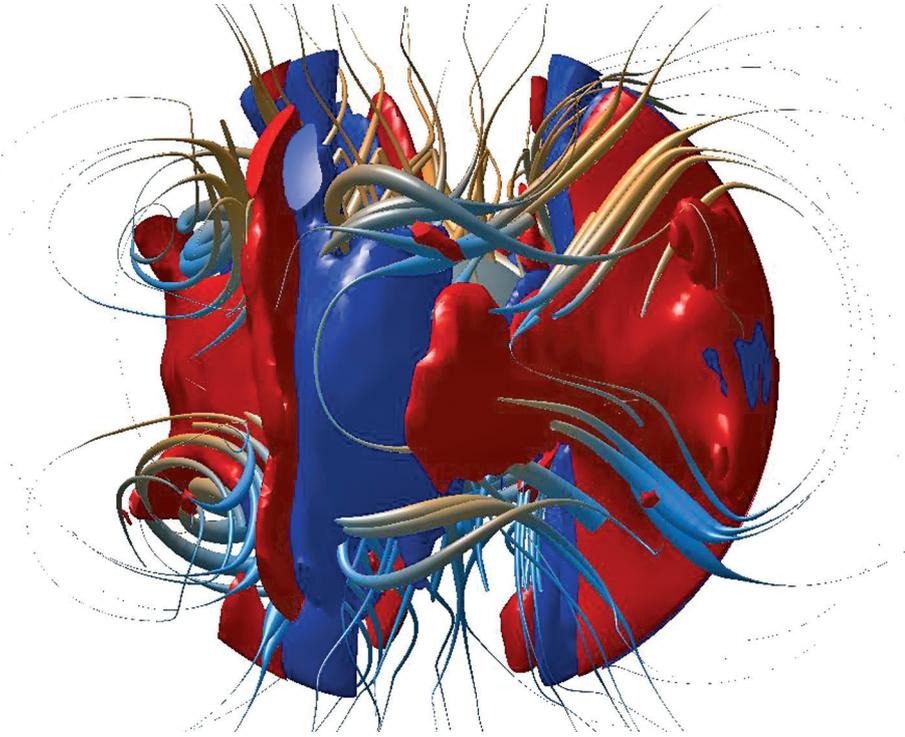
Die JUICE-Mission wird den Planeten Jupiter, einige seiner Monde und die Plasmaumgebung in der Magnetosphäre untersuchen. The JUICE mission will investigate planet Jupiter, some of the moons and the plasma environment in the Jovian magnetosphere.



The Earth's disparate sisters

Although the planets in our solar system exhibit a large number of similarities, there are also considerable differences. Some possess a magnetic field, others do not.

as the Submillimeter Wave Instrument will explore the Jupiter system on board the spacecraft JUICE to determine the composition of atmospheres while infrared spectro-



Volcanic activity is prominent on planets with a solid mantle and on the moons.

On the other hand, moving continental plates are only found on Earth. Liquid water, an important prerequisite for life, was once found on Mars, but not on Venus. Even today there could still be oceans hidden under the thick ice crusts of the Jupiter moons Europa and Ganymede. What causes these differences? Why are the conditions for life so favourable on Earth? Is there life on other heavenly bodies? The scientists at MPS employ various methods to try to answer these questions.

The Institute develops scientific instruments that fly with spacecraft to other planets. Highly specialized cameras have investigated the Saturnian moon Titan, have analyzed the surface of Mars, and have probed the clouds and winds of Venus. Microwave instruments such

as the Submillimeter Wave Instrument will explore the Jupiter system on board the spacecraft JUICE to determine the composition of atmospheres while infrared spectro-

meters examine the surface rocks of the Jovian moons. A novel laser altimeter on board BepiColombo will survey the topography of Mercury to within a meter. Further instruments developed and built at the MPS identify the atoms, electrons, and dust that move around the planets and impact their moons. Here the influence of the solar wind on the atmospheric gases is of particular interest.

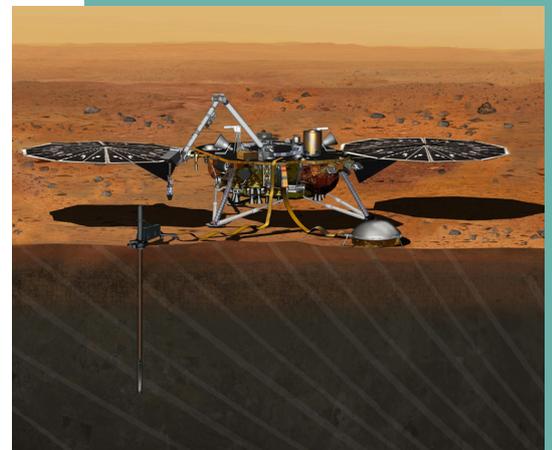
Theoretical studies and intensive computer simulations help to understand the processes both inside and surrounding the planets and to assess the measured data. Models developed at the MPS can describe, for example, interactions with the solar wind, the atmospheric dynamics, or the generation of the terrestrial magnetic field by means of currents deep in the iron core of our planet.

Computersimulationen verdeutlichen, wie Strömungen im tiefen Inneren der Planeten Magnetfelder erzeugen. Bewegungen wie in einem Wirbelsturm (rot und blau) verformen und verstärken das Magnetfeld.

Computer simulations illustrate how magnetic fields are generated by currents in the deep interior of the planet. Motions similar to those in a tornado (red and blue) deform and enhance the magnetic field.

Die Mars-Mission InSight soll den inneren Aufbau des roten Planeten untersuchen. Das MPS ist am Bau des Seismometers SEIS beteiligt.

The Mars mission InSight will study the interior structure of the Red Planet. The MPS is contributing to the onboard seismometer SEIS.

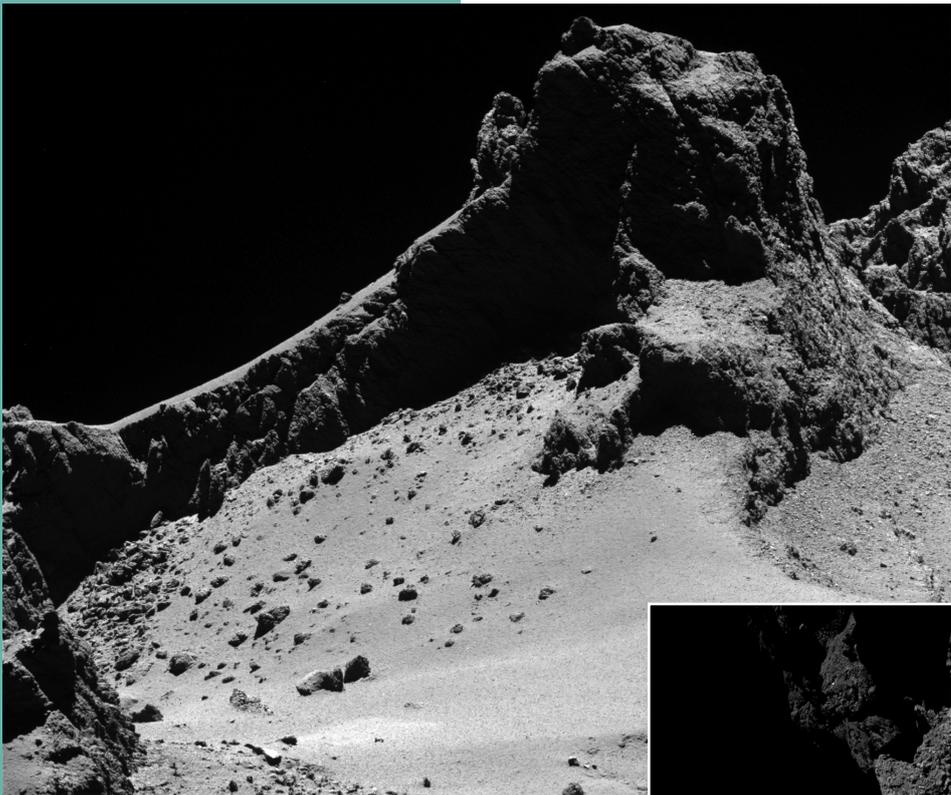


Kometen und kleine Körper – Boten aus der Vergangenheit

Kometen sind Zeitreisende. Seit sie bei der Geburt unseres Sonnensystems aus der ursprünglichen Materie entstanden sind, haben sie sich kaum verändert. Kometen umkreisen die Sonne in großen Ellipsenbahnen und halten sich die meiste Zeit in den eisigen Regionen jen-

tenkerns - und damit der Beweis, dass sich unter der Hülle aus Staub und Gas ein fester Kern verbirgt.

Einen noch viel genaueren Blick warf die ESA-Raumsonde Rosetta von 2014 bis 2016 auf den Kometen Churyumov-Gerasimenko. Ausgestattet mit zehn Messinstrumenten begleitete die Sonde den Kometen über viele Monate auf seinem Weg um die Sonne. Erstmals wurde es dadurch möglich zu überwachen, wie sich die Aktivität des Schweifsterns verändert. Mit an Bord waren zahlreiche Instrumente, die am MPS entwickelt und gebaut wurden. Im Herbst 2014 stand eines der größten Abenteuer an: Rosettas Landeeinheit Philae setzte auf der Oberfläche des Kometen auf. Fünf der zehn Subsysteme von Philae stammen ebenfalls vom MPS.



Bizarre Landschaften auf dem Rosetta-Kometen, eingefangen von einer Weltraumkamera des MPS im Oktober 2014 aus einer Entfernung von acht Kilometern (oben).

Am 12. November 2014 setzte Philae auf der Oberfläche des Kometen auf. Hier zu sehen (rechts), ist einer der drei LandefüÙe an der endgültigen Landestelle.

Bizarre landscape on Rosetta's comet imaged in October 2014 by a space camera from the MPS from a distance of eight kilometers (above).

On 12 November 2014 Philae touched down on the comet's surface. This image shows one of Philae's three landing feet at its final landing place (right).



seits des Neptuns auf. Erst

wenn sie der Sonne näher kommen, entstehen die bis zu mehrere hundert Millionen Kilometer lange Kometenschweife. Die Kerne der Kometen sind mit nur wenigen Kilometern Durchmesser im Vergleich dazu winzig. Sie ähneln schmutzigen Schneebällen aus Eis und mineralischem Staub und enthalten eine Vielzahl an organisch-chemischen Substanzen.

Das Institut hat eine lange Tradition in der Kometenforschung: 1986 gelang einer MPS-Kamera, die an Bord der ESA-Raumsonde Giotto am Kometen Halley vorbeiflog, die erste Nahaufnahme eines Kome-

Eine weitere Gruppe von kleinen Körpern, deren Umlaufbahnen zwischen der des Mars und des Jupiter liegen,

sind die Asteroiden. Diese kosmischen Brocken sind Überreste aus der Zeit der Planetenbildung und somit wichtige Schlüssel für das Verständnis dieses Prozesses. Das Institut hat die Kameras für die im Jahr 2007 gestartete NASA-Mission Dawn geliefert, die mit Vesta und Ceres zwei der größten Asteroiden erkundet.

Die Erforschung der Asteroiden und Kometen wird durch Teleskopbeobachtungen von der Erde aus sowie durch theoretische Arbeiten ergänzt, die wichtige Aufschlüsse über ihre Zusammensetzung und Entwicklung liefern.

Comets and small bodies – messengers from the past

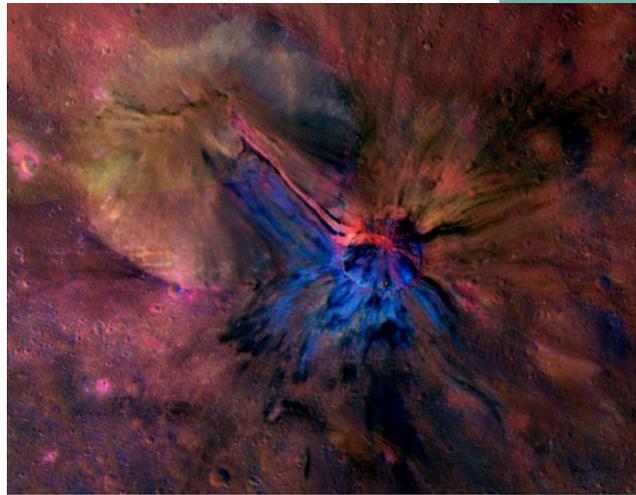
Comets are time travellers. They have scarcely changed at all since they were created out of the primordial material during the birth of our solar system.

Comets circle the Sun on large elliptical orbits and spend most of their time in the icy regions beyond Neptune. Only when they approach the Sun do the cometary tails come into existence, with a length of up to several hundred million kilometers. The nucleus of a comet is tiny in comparison, only a few kilometers in diameter. They are like dirty snowballs, made of ice and mineral dust, containing myriads of organic-chemical compounds.

The Institute has a long tradition in cometary research: in 1986 a camera developed at MPS flew past comet Halley on board the ESA-spacecraft Giotto and succeeded in providing the close-up image of a cometary nucleus - and thus the proof that indeed a solid core is hidden beneath the shroud of gas and dust.

From 2014 to 2016 ESA's Rosetta space probe took an even closer look at comet Churyumov-Gerasimenko. Equipped with ten instruments, Rosetta accompanied the comet on its journey around the Sun. This made it possible to study for the first time, how the comet's activity changes. Several of Rosetta's instruments were built at the MPS. The autumn of 2014 saw one

of the biggest adventures: Rosetta's lander Philae touch-downed on the comet's surface. Five of Philae's



Der Protoplanet Vesta in Farbe: Aufnahmen der Kameras an Bord der Raumsonde Dawn machen Fließstrukturen im und am Krater Aelia sichtbar.

The protoplanet Vesta in color: images taken by the camera system of the Dawn spacecraft reveal these flow structures in and around the Aelia crater.

ten subsystems also originated at the MPS.

Asteroids are another group of small bodies, located between the orbits of Mars and Jupiter. These cosmic blocks are leftovers from the time when the planets were formed and therefore are an important key to understanding that process. The Institute has provided the cameras for the NASA Dawn Mission, launched in 2007, to study two of the largest bodies in the asteroid belt, Vesta and Ceres.

Research on asteroids and comets is accompanied by observations with telescopes from Earth and by theoretical studies, which provide insights into their composition and development.

Eine bodengebundene Aufnahme des Kometen LINEAR-Grauer.
A ground-based observation of comet LINEAR-Grauer.



Auffallend helle Flecken zeigen sich auf der Oberfläche des Zwergplaneten Ceres.

Striking bright spots can be found on the surface of dwarf planet Ceres.

Das Innere der Sonne in 3D

Konvektionsströme im Innern der Sonne regen unseren Stern zu Millionen verschiedener Schwingungsarten an. Diese erlauben

es Astrophysikern, in das Innere des Sterns zu schauen – so wie Erdbe-

ben Geophysikern helfen, den inneren Aufbau der Erde zu erkunden. In den vergan-

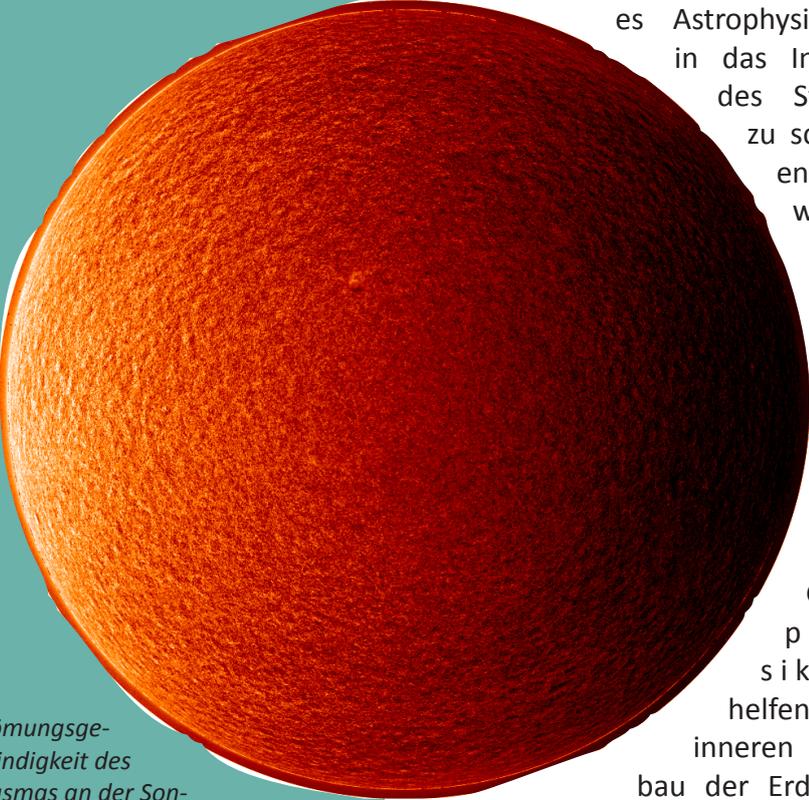
genen 20 Jahren konnten Forscher mithilfe der sogenannten Helioseismologie wichtige Entdeckungen machen, etwa in Bezug auf Aufbau und Evolution von Sternen.

Eine der spannendsten Aufgaben der Helioseismologie ist die Suche nach Hinweisen zu Ursprung und Veränderlichkeit des Sonnenmagnetfeldes. Der gängigen Theorie zur Folge verdrillen, verstärken und verdrehen die Scher- und Konvektionsbewegungen des Plasmas im Sonneninnern die magnetischen Feldlinien derart, dass an der Oberfläche unseres Sterns Sonnenflecke und aktive Regionen hervortreten. Nur mit Hilfe der Helioseismologie lässt sich diese Theorie bestätigen, indem die Plasmabewegungen im Inneren der Sonne und ihre Veränderungen nachverfolgt werden. Mit Hilfe der Messdaten, die die Raumsonden SOHO und SDO seit 20 Jahren liefern, konnte die Helioseismologie in dieser Frage wichti-

ge Fortschritte erzielen. So ließen sich etwa Regionen im Inneren der Sonne aufdecken, in denen sich die Rotationsrate lokal stark ändert, sowie Schwankungen in der Rotationsdauer des Sterns, die im Verlauf eines Sonnenzyklus auftreten.

Die nächsten neuen Erkenntnisse erwarten Forscher von der lokalen Helioseismologie, einem jungen Forschungsgebiet, das dreidimensionale Ansichten des Sonneninnern liefert. Schon jetzt konnten Wissenschaftler einen Mechanismus aufdecken, der den magnetischen Fluss in nord-südlicher Richtung transportiert und für die elfjährige Dauer des Sonnenzyklus verantwortlich sein könnte. Detaillierte dreidimensionale Karten der Ströme unterhalb der Sonnenoberfläche werden helfen, die Phänomene zu verstehen, die die Sonnenaktivität steuern. Zudem könnte die lokale Helioseismologie genutzt werden, um aktive Regionen auf der erdabgewandten Seite der Sonne aufzuspüren. Auf diese Weise wäre eine Warnung vor extremen Welt- raumwetter-Ereignissen möglich.

Einen wichtigen technologischen Fortschritt für die Helioseismologie stellte 2010 der Start der Raumsonde SDO dar. SDO hat die gesamte sichtbare Hemisphäre der Sonne mit hoher räumlicher Auflösung im Blick. Auf diese Weise bietet die Sonde Zugang auch zu hohen Breiten unseres Sterns und ermöglicht es zu verfolgen, wie sich aktive Regionen im Laufe ihrer Wanderung über die Sonnenscheibe entwickeln. Noch vor Ende dieses Jahrzehnts soll zudem die ESA-Mission Solar Orbiter erstmals in der Lage sein, die Dynamik unterhalb der Oberfläche der Polarregionen zugänglich zu machen. Weitere Fortschritte bedürfen neuer Techniken der computergestützten Helioseismologie, die von der irdischen Seismologie inspiriert sind.



Strömungsgeschwindigkeit des Plasmas an der Sonnenoberfläche in Blickrichtung, aufgenommen von der Raumsonde SDO. Das gemessene Signal besteht aus Rotation, Konvektion und solaren Schwingungen.

Line-of-sight velocity measured by SDO at the surface of the Sun. The signal consists of rotation, convection, and solar oscillations.

Solar interior in 3D

Millions of modes of vibration, excited by solar convection, enable astrophysicists to see inside the Sun, just as geophysicists can probe the internal structure of the Earth using earthquakes. Over the past twenty years, helioseismology has produced a considerable number of discoveries in solar, stellar, and fundamental physics. For example, helioseismology has provided by far the most precise tests for the theory of stellar structure and evolution.

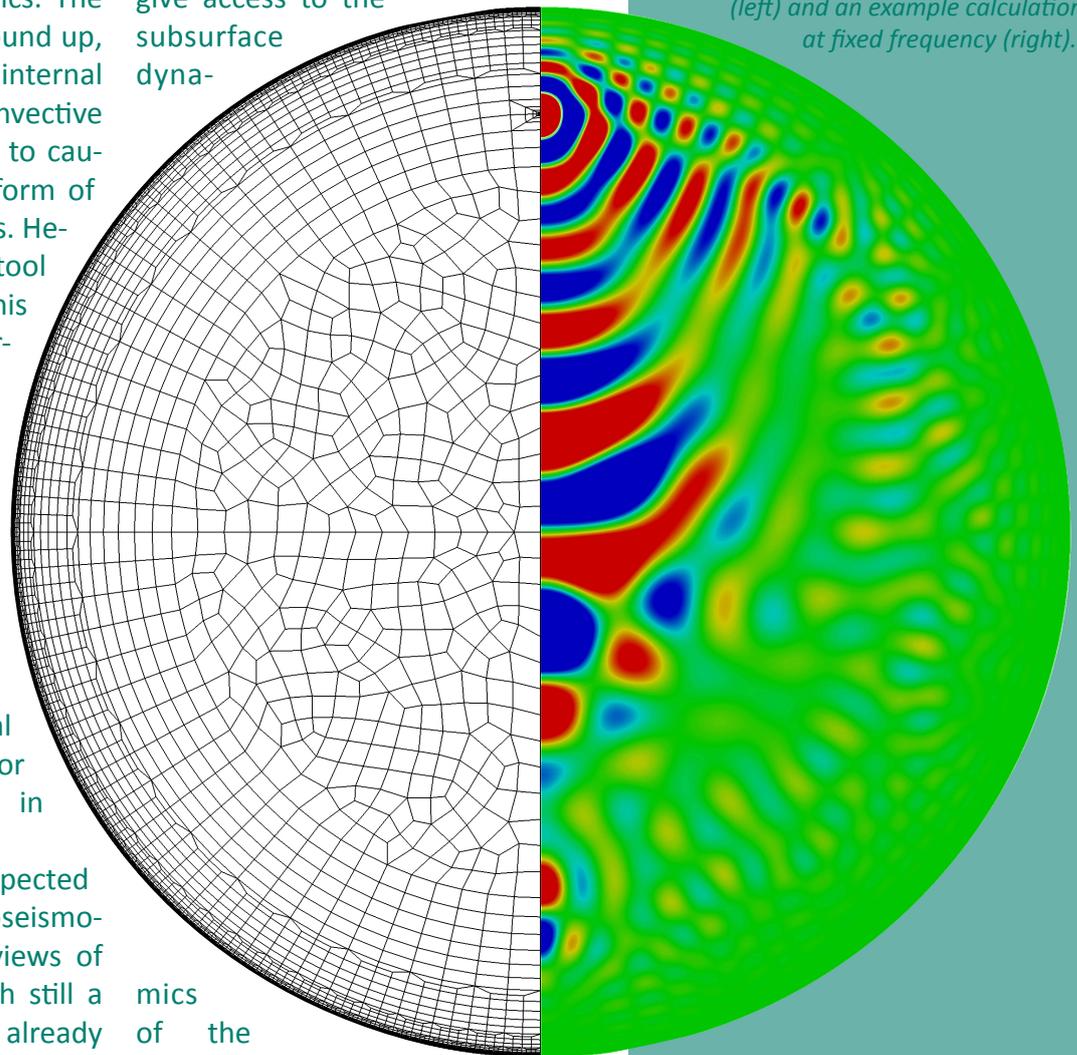
Today, the most exciting aspect of helioseismology is the search for clues regarding the origin and variability of the Sun's magnetic field, possibly the most important unsolved problem in solar physics. The magnetic field lines are wound up, amplified and twisted by internal shearing motions and convective motions, in such a way as to cause surface activity in the form of sunspots and active regions. Helioseismology is the only tool we can use to confirm this paradigm by mapping internal mass motions, structural asphericities, and their temporal variations. Thanks to more than 20 years of observations from the SOHO and SDO spacecraft, helioseismology has already provided important results, revealing regions of rotational shear in the Sun's interior and solar-cycle variations in the rotation rate.

The next advances are expected to come from local helioseismology, which provides 3D views of the solar interior. Although still a developing science, it has already pinpointed a mechanism for the latitudinal transport of the magnetic flux that could determine the eleven-year period of the solar cycle. Detailed 3D maps of subsurface

flows will be key to understanding the complex phenomena that control solar activity. In another application, local helioseismology can be used to detect active regions on the far side of the Sun, thus providing advance warning for extreme space weather events.

The launch of SDO in 2010 was an important technological step for helioseismology. With a high spatial resolution over the entire visible solar hemisphere, SDO gives continuous access to high solar latitudes and enables us to follow the evolution of solar active regions as they move across the solar disk. Before the end of this decade, ESA's Solar Orbiter should, for the first time, give access to the subsurface dyna-

mics of the Sun's polar regions. Further advances will rely on new techniques of computational helioseismology, inspired from terrestrial seismology.



Numerische Simulationen der Wellenausbreitung vor heterogenem Hintergrund sind die wichtigsten Werkzeuge bei der Interpretation helioseismischer Beobachtungen. Die Abbildung zeigt ein Beispielgitter für den Finite-Elemente-Code (links) und Ergebnisse der Rechnung bei fester Frequenz (rechts). Numerical simulations of wave propagation in heterogeneous backgrounds are key tools for interpreting helioseismic observations. The figure shows an example mesh for a finite element code (left) and an example calculation at fixed frequency (right).

Sternenparameter so präzise wie nie

Die Asteroseismologie, die Wissenschaft von den globalen Schwingungen ferner Sterne, befindet sich derzeit in einer spannenden und entdeckungsreichen Phase. Von zahlreichen Sternen unterschiedlichster Masse und Evolutionsstufe ist bekannt, dass sie schwingen. Der Satellit CoRoT der französischen und europäischen Weltraumagenturen CNES und ESA und die NASA-Mission Kepler haben die Schwingungen dutzender sonnenähnlicher Sterne aufgezeichnet und analysiert.

Solche Daten bieten ein ungeheures Potential. So erlauben sie es etwa, die Masse und das Alter der beobachteten Sterne mit bisher unerreichter Genauigkeit zu bestimmen. Liegen solche Parameter von einer hinreichend großen Stichprobe von Sternen vor, wird dies unser Wissen von der Evolution von Sternen und der Galaxis revolutionieren.

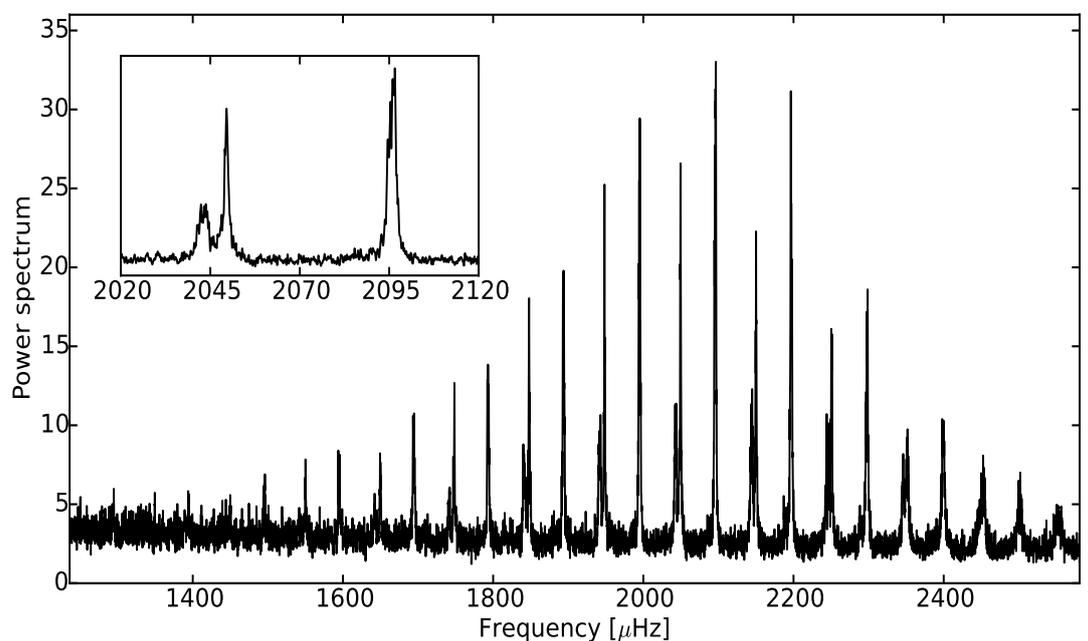
Zudem bietet die Asteroseismologie die Möglichkeit, die innere Rotation von Sternen besser abzuschätzen und die Grenzen der Konvektions- und Ionisationszonen zu orten. Diese Information würde helfen, die dynamo-getriebenen Aktivitätszyklen von Sternen und

die Verbindung zwischen Sonne und Sternen besser zu verstehen. Sobald künftige Weltraummissionen hochpräzise Beobachtungen für eine große Stichprobe verschiedenartiger Sterne liefern, lassen sich diese Möglichkeiten voll ausschöpfen.

Asteroseismologische Untersuchungen sind auch nützlich für die Erkundung ferner Exoplaneten. Denn präzise Abschätzungen der Masse und Größe der jeweiligen Zentralsterne erlauben es, auch die Massen und Größen der Exoplaneten zu bestimmen. Zudem lässt sich mit Hilfe der Asteroseismologie das Alter des Sterns berechnen. Dies ist entscheidend um zu verstehen, wie sich Exoplanetensysteme entwickeln.

PLATO ist eine ESA-Mission, die 2025 ins All starten soll. Die Sonde soll die Schwingungsfrequenzen von mehr als 80.000 sonnenähnlichen Sternen messen, die hell genug sind, um sie von der Erde aus weiter zu untersuchen. Forscher können ferne Planetensysteme mit Hilfe solcher Daten vollständig charakterisieren. MPS-Wissenschaftler tragen zum Kalibrieren und Verarbeiten der PLATO-Messergebnisse bei.

Leistungsspektrum der Schwingungen des sonnenähnlichen Sterns KIC 006116048 aus Beobachtungen des Weltraumteleskops Kepler. Jedes Maximum entspricht einer Resonanzfrequenz. Zusammen betrachtet erlauben es diese Frequenzen, die grundlegenden Eigenschaften des Sterns abzuschätzen. Power spectrum of oscillation of the Sun-like star KIC 006116048 as observed by Kepler. Each peak corresponds to a resonant mode frequency. When interpreted all at once, mode frequencies constrain the fundamental parameters of a star.

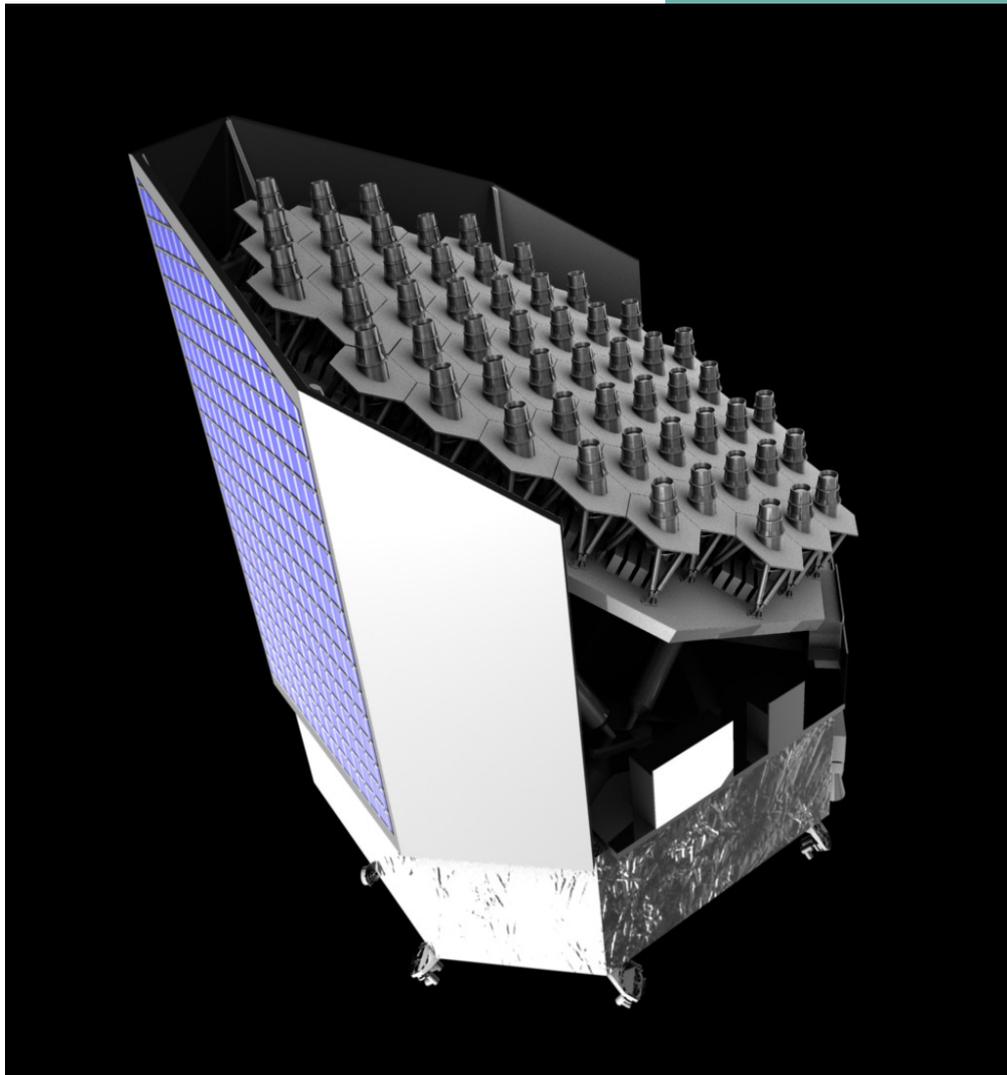


Precision stellar parameters

Asteroseismology, the study of global oscillations of distant stars, has entered a very exciting period of discovery. Many stars, covering a wide range of masses and evolutionary states, are known to oscillate. Much progress has been made with the operation of the CNES/ESA CoRoT satellite and the NASA Kepler mission, which have delivered excellent oscillation power spectra for dozens of Sun-like stars.

Stellar oscillations have considerable diagnostic potential and allow stellar mass and age to be determined with unprecedented precision. Such knowledge for a sufficient sample of stars will revolutionize stellar evolution and galactic evolution studies. Asteroseismology also has the potential to constrain internal stellar rotation and locate the borders of convection and ionization zones. This information would help to understand dynamo-generated stellar activity cycles and the solar-stellar connection. These exciting possibilities for the study of stellar structure, evolution, and activity will be fully realized once future missions deliver high-precision observations for a large and diverse sample of bright stars.

The asteroseismology of planet-host stars will be particularly useful to characterize the properties of detected exoplanets. Precise seismic estimates of the masses



and radii of host stars will make it possible to infer the masses and radii of transiting planets. With asteroseismology, the ages of planet-host stars will be measured, which will be crucial information for studies on the evolution of exoplanetary systems.

PLATO is an ESA mission, scheduled for launch in 2025. PLATO will measure the oscillation frequencies of over 80,000 Sun-like stars, bright enough to be studied further with high-precision spectroscopy from the ground. Confirmed planetary systems will be fully characterized through the asteroseismology of their host stars and the follow-up observations. The MPS will contribute to the calibration and processing of the PLATO observations from the ground.

Künstlerische Darstellung des Weltraumteleskops PLATO. Die Nutzlast besteht aus 30 Teleskopen, welche die Helligkeitsschwankungen von etwa einer Million Sternen in einem großen Himmelsausschnitt messen.
Artist's impression of PLATO. The payload baseline consists of 30 telescopes which will measure the brightness variations of approximately one million stars over a large fraction of sky.

Solar System School

In der „International Max Planck Research School for Solar System Science at the University of Göttingen“ (Solar System School) haben

de Bedingungen bietet. Während der dreijährigen Promotionsphase betreuen erfahrene Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Promovierenden.

Im Rahmen der Solar System School forschen ständig etwa 50 hochqualifizierte Doktorandinnen und Doktoranden aus mehr als 30 Ländern. Die Lehrveranstaltungen finden in englischer Sprache statt und vermitteln eine breite, interdisziplinäre und fundierte wissenschaftliche Ausbildung, die durch ein karrierebegleitendes Kursangebot ergänzt wird.

Die Forschungsthemen der Promovierenden decken wissenschaftliche Fragestellungen aus allen Gebieten der Sonnensystemforschung ab, die am Institut vertreten sind. Die Forschungsmethoden reichen von Instru-

mentierung und Beobachtung über Datenanalyse und Interpretation zu numerischen Simulationen und theoretischer Modellierung.



*Nach alter Tradition feiern die frisch gebackenen Doktorinnen und Doktoren ihren Abschluss am Göttinger Gänseliesl.
Following a long tradition, newly graduated doctors celebrate at the Göttinger Gänseliesl.*

sich das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung und die Georg-August-Universität Göttingen zusammengeschlossen, um ein international ausgerichtetes Promotionsstudium am Institut anzubieten.

Das forschungsintensive Graduiertenprogramm der Physik zielt darauf ab, die besten Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler in einem Umfeld auszubilden, das ihnen hervorragen-



Solar System School

The „International Max Planck Research School for Solar System Science at the University of Göttingen“ (Solar System School) is a collaboration of the MPI for Solar System Research and the University of Göttingen for the purpose of offering an international PhD programme at the institute.

This research-oriented graduate programme in physics aims to train junior scientists in a research environment featuring excellent conditions.

During their three-year PhD education, the candidates are advised by senior scientists.

curriculum has been designed to impart a broad, interdisciplinary and solid scientific education, and includes additional qualification courses relevant for academic or non-academic careers.

The research topics for doctoral theses address scientific problems from all areas of Solar System research represented at the institute. Research methods range from instrumentation and observation to



Logo der Solar System School.
Logo of the Solar System School.



Studierende der Solar System School bei der Diskussion ihrer Forschungsergebnisse.

Students of the Solar System School discussing their research results.

About 50 highly qualified doctoral candidates from more than 30 countries study at the Solar System School at any given time. The language of instruction is English. The

data analysis and interpretation as well as numerical simulations and theoretical modelling.

Von Juli 2002 bis Dezember 2016 haben 161 Studierende der Solar System School ihre Promotion erfolgreich abgeschlossen.

From July 2002 until December 2016, 161 students of the Solar System School have successfully obtained their doctorate degrees.



Zentrale Einrichtungen

Die zentralen Einrichtungen gliedern sich in die technischen Bereiche Labor, Werkstätten, Konstruktion, EDV-Zentrum und in den

den Thermal-Vakuum-Kammern und am Vibrationsstand. Danach wird die Integration der Kompo-



Das Institut verfügt über zahlreiche Reinnräume mit unterschiedlichen Qualitätsstandards. In den Bereichen mit geringster Verunreinigung prüfen und integrieren Mitarbeiter die Komponenten für Weltraummissionen.

The Institute has several clean rooms of varying standards available. Staff members test and integrate components for space missions in an environment of minimal impurities.

Verbund der Großgeräte sowie in die allgemeinen Dienste wie Verwaltung, Bibliothek, Kantine und Ausbildung. Die Aufgaben dieser Bereiche lassen sich am deutlichsten an Hand von Experimententwicklungen und deren Abläufen darstellen.

Der Werdegang der Instrumente beginnt nach der Planungsphase durch wissenschaftliche Teams mit der Sicherstellung der Finanzierung. Daraufhin entstehen in der Konstruktion Entwürfe und erste Abschätzungen der Dimensionen und des Gewichts des neuen Instruments. In den Laboratorien und den mechanischen Werkstätten werden die elektronischen Subsysteme und parallel dazu erste Modelle der Struktur sowie Fassungen für optische Komponenten und Sensoren hergestellt, deren Oberflächen galvanisch und mit Laser-technologien veredelt werden. Es folgen diverse Härtetests z.B. in

den Reinnräumen und im Kalibrationsraum durchgeführt. Im letzten Schritt wird das fertige Instrument einer strengen Qualitätskontrolle unterzogen, bevor es in die Raumsonde integriert wird. Eine baugleiche Ersatzeinheit verbleibt im Institut zur Kontrolle und Überwachung der Daten, die beim Flug empfangen werden. Parallel dazu wird im EDV-Bereich mit den Projektwissenschaftlern die Betriebs- und Auswertesoftware entwickelt.

Die gesamte Entwicklung erfordert hoch qualifiziertes Personal. Unter anderem unterhält das Institut Lehrwerkstätten, in denen im Mittel 25 Jugendliche ausgebildet werden. Bei Leistungswettbewerben sind bereits sieben von ihnen als Bundessieger ausgezeichnet worden.

Für Schüler und Studenten werden jährlich etwa 20 Praktikantenstellen angeboten.

Central Services

The central services are organised in the technical areas of laboratories, workshops, mechanical design unit, computing center, and clean rooms with test equipment, as well as general services such as administration, library, canteen, and training of apprentices. The purposes of these areas are best described by explaining how an experiment comes into being.

The course of development for an instrument begins with a planning phase run by scientific teams, followed by securing adequate financing. Then the initial designs are produced by the mechanical design unit with the first estimates of the size and weight of the new instrument. Electronic subsystems

are constructed in the laboratories and workshops while at the same time structural models and mountings for optical components and sensors are built, the surfaces of which are prepared through electroplating and laser technology. Many tests for robustness then follow, such as in the thermal-vacuum chamber and on the vibration stand. Next the components are assembled in the clean rooms and calibration rooms. In the final step, the finished instrument undergoes a rigid qualification control before

it is integrated with the spacecraft. An identical reserve unit remains in the Institute as a reference and to check the data that are obtained during the flight. Parallel to all this, the computing center works with the project scientist to develop software for the operations and data analysis.

The entire development requires highly qualified personnel. The Institute maintains teaching workshops in which on average 25 young people are being trained. Seven of them have won national competitions of best apprentices.

Each year there are about 20 assistant positions available for students of secondary schools and universities.

In einer Vielzahl von Thermal-Vakuum-Anlagen werden die Experimente realistischen Tests unter Weltraumbedingungen unterzogen (extreme Temperaturen zwischen -180° und $+150^{\circ}\text{C}$ und niedrigste Drücke bis zu einem Zehnmillionstel Millibar). Diese größte Kammer hat ein Innenvolumen von 15 Kubikmetern.

Thermal-vacuum chambers are used to test experiments under the realistic conditions of space (extreme temperatures between -180° und $+150^{\circ}\text{C}$ and pressures as low as one ten millionth millibar. This largest chamber has an interior volume of 15 cubic meters.



Entwicklung neuer Instrumente

Das Institut verdankt seine herausragende Stellung zu einem großen Teil den leistungsfähigen und technologisch anspruchsvollen Instrumenten, die für den Einsatz bei Weltraummissionen entwickelt und gebaut werden. Dazu gehören miniaturisierte Flugzeitdetektoren, Gaschromatographen, Koronographen, UV-, IR- und Massenspek-

fordert werden unter anderem geringes Gewicht, extreme Stabilität, minimaler Stromverbrauch und schnelle Datenübertragung.

Auf Anregung von Wissenschaftlern schreiben Weltraumorganisationen wie ESA, NASA und JAXA (Japan) die Missionen aus, auf die sich Forschungseinrichtungen aus aller Welt bewerben können. Das Institut hat bisher als Mitglied in internationalen Konsortien den Zuschlag für fast 100 derartiger Experimente auf internationalen Missionen gewonnen und erfolgreich betrieben.

Die überwiegende Mehrzahl dieser Weltraumexperimente wird in den Laboratorien und Werkstätten des Instituts geplant, entwickelt und gebaut. Einzelne Subsysteme und Softwarekomponenten, die wegen spezieller Anforderungen nicht im Institut erstellt werden können, gehen als externe Aufträge an die Industrie.



Das Institut entwickelte eine Aufhängung und Beine mit denen das Seismometer SEIS auf Planeten und Monden exakt ausgerichtet werden kann.

The Institute developed a suspension and legs to precisely align the seismometer SEIS on planets and moons.

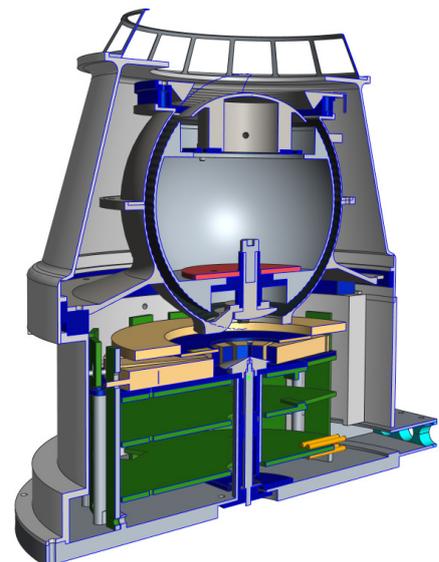
trometer sowie Spezialkameras, die unter anderem die ersten Bilder des Kometen Halley und Panorama-Ansichten vom Mars (Pathfinder-Mission) lieferten, Nahaufnahmen vom Titan (DISR auf Huygens) und von der Venus (VMC auf Venus-Express) sowie die bisher höchst aufgelösten UV-Aufnahmen der Sonne (SUFI auf Sunrise).

Beispiele für neu entwickelte Instrumente sind unter anderen: SUFI auf Sunrise, OSIRIS, COSAC und Philae auf Rosetta, Dawn Framing Camera und RAC auf Phoenix.

Das MPS ist u.a. mit einem Instrument zur Messung von Elektronen und Ionen an der ESA-Mission JUICE beteiligt, die das Jupitersystem untersuchen soll.

MPS is participating with an instrument for measuring electrons and ions onboard the ESA mission JUICE, designed to investigate the Jovian system.

Experimente für Weltraummissionen müssen unter extremen Bedingungen – energiereiche Strahlung, Vakuum, hohe und tiefe Temperaturen – viele Jahre zuverlässig funktionieren und dabei Eigenschaften bieten, die schwer miteinander vereinbar sind. Ge-



Developing new instruments



The Institute owes its renowned position to a large extent to the excellent quality of the high performance instruments that it has developed and constructed as part of the payloads on numerous international space missions. Among these are miniaturized time-of-flight detectors, gas chromatographs, coronagraphs, UV, IR and mass spectrometers, as well as specialized cameras, such as the ones that took the first pictures of the comet Halley and a panorama view of Mars (Pathfinder Mission), made close-up images from Saturn's moon Titan (DISR on board Huygens) and Venus (VMS on board Venus Express), and took the highest resolution UV images of the Sun so far (SUFI on Sunrise).

Following the initiative started by scientists, the world's space organizations such as ESA, NASA, and JAXA (Japan) etc. plan missions for which research institutes all over the world may apply. This Institute, as part of international consortiums, has so far won participation on almost 100 such experiments for international missions, and has successfully run them.

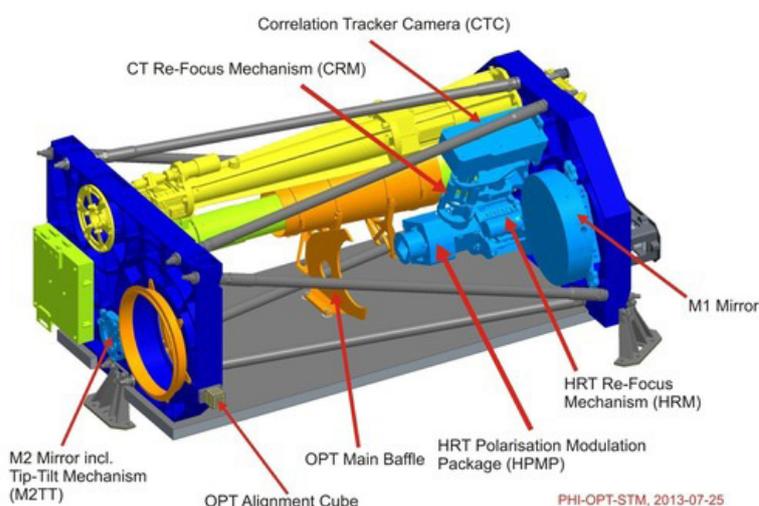
The majority of these space experiments are planned, developed, and built in the laboratories and workshops at the Institute. A number of subsystems and software components are contracted out to industry because of special requirements that cannot be met at the Institute.

Some examples of recently developed instruments are: SUFI on Sunrise, OSIRIS, COSAC and Philae on Rosetta, the Dawn Framing Camera, and RAC on Phoenix.

*In einem der Reinräume bereiten MPS-Mitarbeiter Hardwarekomponenten eines Weltrauminstrumentes auf Tests in der Vakuum-Kammer vor.
In one of the clean rooms, Institute staff prepare the hardware components of a space instrument for tests in the vacuum chamber.*

Designstudie des Instruments PHI zur Untersuchung des Magnetfeldes der Sonne an Bord der ESA-Raumsonde Solar Orbiter.

Design of the PHI-Instrument onboard ESA's Solar Orbiter spacecraft to investigate the solar magnetic field.



PHI-OPT-STM, 2013-07-25

Von der Atmosphären- zur Weltraumforschung

Von 1946 bis in die 70er Jahre war die Erforschung der Ionosphäre mit leistungsstarken Sendern und Antennensystemen das Hauptarbeitsgebiet des Instituts.

From 1946 and into the 70's, the main research area at the Institute was the study of the ionosphere by means of powerful transmitters and antenna systems.



Das Ionogramm vom 31. Dez. 1957 stellt die Reflexion von Radiosignalen aus der Ionosphäre dar.

The ionogram from 31 Dec. 1957 displays the reflection of radio signals from the ionosphere.

Walter Dieminger gründete 1934 die Ionosphären-Beobachtungsstation bei der Erprobungsstelle der Luftwaffe in Rechlin/Mecklenburg. Nach zwei Umsiedlungen und Namensänderungen kam die Arbeitsgruppe um Dieminger im März 1946 nach Lindau und wurde

1952 den Namen Max-Planck-Institut für Physik der Stratosphäre. Nach dem Tod von Erich Regener im Jahr 1955 wurde das Institut unter der neuen Leitung von Julius Bartels nach Lindau verlegt.

Bei weiterhin getrennter wissenschaftlicher Leitung erhielten die beiden Teilinstitute 1957 den gemeinsamen Namen Max-Planck-Institut für Aeronomie. Im Jahr 1968 wurde der Neubau am Hopfenberg bezogen. Die endgültige Vereinigung unter einer wissenschaftlichen Leitung durch die beiden Direktoren Sir Ian Axford und Georg Pfozter erfolgte jedoch erst 1975. Weitere Direktoren waren Tor Hagfors, Helmut Rosenbauer und Vytenis Vasyliūnas.

als Fraunhofer-Institut in die damalige Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft eingliedert. Nach

Gründung der Max-Planck-Gesellschaft im Februar 1948 erhielt das Institut den Namen Max-Planck-Institut für Ionosphärenforschung. Im Jahr 1954 wurde der Grundstein für die ersten neuen Institutsgebäude gelegt.

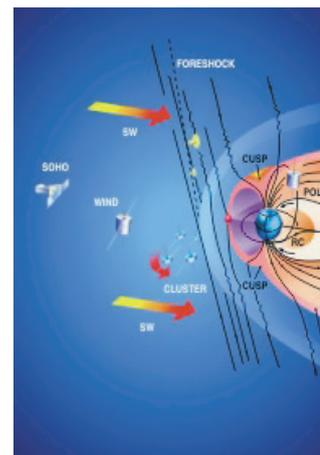
Erich Regener zeigte schon während seiner Zeit an der TH Stuttgart (bis Ende 1937) großes Interesse an der Zusammensetzung und Physik der Stratosphäre. Im Jahr 1938 wurde seine neu gegründete „Forschungsstelle für Physik der Stratosphäre“ in Friedrichshafen am Bodensee ein Mitglied der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. Zehn Jahre später – es erfolgte 1944 noch ein Umzug nach Weißenau bei Ravensburg – übernahm die Max-Planck-Gesellschaft das Institut. Es erhielt schließlich

Ab 1997 konzentrieren sich die wissenschaftlichen Arbeiten – einem Senatsbeschluss der MPG folgend – auf die Fachgebiete Sonnen- und Planetenphysik. Seit dem 1. Juli 2004 trägt das Institut den Namen Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung.

Eine weitere weitreichende Veränderung stand im Frühjahr 2014 an: Das MPS siedelte nach Göttingen in einen Neubau am Nordcampus der Göttinger Universität um.

Die Erforschung der Erdmagnetosphäre war ein weiteres wichtiges Themengebiet am Institut.

Research into the terrestrial magnetosphere was a further important research topic at the Institute.



From atmospheric to space research

Walter Dieminger established an ionospheric observation station in 1934 at the Luftwaffe test grounds in Rechlin/Mecklenburg. After two moves and name changes, the Dieminger working group finally arrived in Lindau in March 1946 and was incorporated in the Kaiser Wilhelm Society. Following the founding of the Max Planck Society in February 1948, this institute was renamed Max Planck Institute for Ionospheric Research. The cornerstone for the first new building was laid in 1954.

Erich Regener had shown great interest in the composition and physics of the stratosphere even during his tenure at the TH Stuttgart (until the end of 1937). In 1938, his newly founded "Research Post for the Physics of the Stratosphere" in Friedrichshafen am Bodensee became a member of the Kaiser Wilhelm Society. Ten years later, there having been a further move to Weissenau near Ravensburg in 1944, the institute was taken over by the Max Planck Society. It was finally given the name Max Planck Institute for Physics of the Stratosphere in



Ein Blick auf das MPS als es noch in Katlenburg-Lindau beheimatet war. A bird's eye-view of the MPS when it was still located in Katlenburg-Lindau.

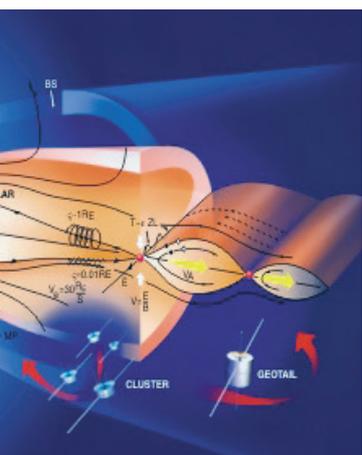
The two institutes were united under the name Max Planck Institute for Aeronomy in 1957, albeit under separate scientific leaderships. In 1968 it moved into the new building on Hopfenberg. The final merging was completed in 1975 under the scientific leadership of the two directors Sir Ian Axford and Georg Pfotzer. Further directors were Tor Hagfors, Helmut Rosenbauer, and Vytenis Vasyliūnas.

As of 1997, following a MPG Senate decision, the scientific work is to be concentrated in the areas of solar and planetary physics. On July 1, 2004, the Institute was given the new name Max Planck Institute for Solar System Research.

In the spring of 2014, another major event followed. The MPS relocated to a new building in Göttingen in close proximity to the University's Northern Campus.

Mit dem ersten deutschen Forschungs-satelliten Azur (1969) begann die Beteiligung des Instituts an Weltraum-missionen.

The Institute began its involvement in space missions with the first German research satellite Azur, launched in 1969.



1952. After the death of Erich Regener in 1955, the institute was transferred to Lindau under the leadership of Julius Bartels.

Beispiele einiger Welt-
raum-Missionen mit Beteili-
gungen aus dem MPS
*Examples of space missions
with participation from
MPS:*

AZUR
Bepi Colombo
Cassini/Huygens
Chandrayaan-1
Cluster
CRRES
Dawn
Equator-S
ExoMars
Galileo
Geotail
Giotto
Helios I+II
Herschel
InSight
Interball
JUICE
Mars 96
Mars Pathfinder
Mars Express/Beagle 2
Nozomi
Phobos-2
Phoenix
PLATO
Polar
Rosetta
Smart
SOHO
Solar Dynamics Observatory
Solar Orbiter
STEREO A+B
Ulysses
Venus Express

Das Institut: intern – extern

Das Institut ist bestrebt Forschung auf allerhöchsten wissenschaftlichem Niveau zu betreiben. Ein von der Max-Planck-Gesellschaft berufener Fachbeirat, der mit international anerkannten Wissenschaftlern besetzt ist, sowie ein hochrangiges Kuratorium besuchen das Institut in regelmäßigen Abständen. Bei diesen Besuchen informieren sich Fachbeirat und Kuratorium über die wissenschaftliche Arbeit und begutachten diese. Zudem werden die aufgewandten finanziellen Mittel beraten und überprüft. Die darüber erstellten Berichte und Protokolle geben dem Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft einen Überblick über die Qualität der erbrachten Leistungen.

Ein wichtiges Maß für die Erfolge des Instituts sind die Veröffentlichungen und die im In- und Ausland gehaltenen Vorträge. Allein in den vergangenen fünf Jahren haben Mitarbeiter des Instituts jährlich etwa 200 wissenschaftliche Beiträge in internationalen Zeitschriften und Büchern veröffentlicht sowie etwa 300 Vorträge präsentiert.

Die in der Welt- und Europakarte auf der Mitte dieser Seite dargestellte Auswahl der internationalen Verbindungen verdeutlicht den weiten Bereich der Kooperationen und Partnerschaften des Instituts. Im Rahmen der damit verbundenen Zusam-

menarbeit hat sich das Institut seit 1965 weitgehend eigenverantwortlich an etwa 30 erfolgreichen Weltraummissionen beteiligt.

In Deutschland bestehen zu der Georg-August Universität in Göttingen und der Technischen Universität Braunschweig aber auch zu vielen anderen Forschungseinrichtungen, Institutionen und Technologieunternehmen sehr enge Kontakte. Die Deutschlandkarte zeigt eine begrenzte Auswahl dieser Standorte.





Impressum:
Max-Planck-Institut
für Sonnensystemforschung
Justus-von-Liebig-Weg 3
37077 Göttingen

Tel.: +49 - (0)551 384 979 - 0
Fax: +49 - (0)551 384 979 - 240

<http://www.mps.mpg.de>
E-Mail: presseinfo@mps.mpg.de

Verantwortlich für den Inhalt:
Norbert Krupp, Birgit Krummheuer

Bildnachweise:
B.-K. Ruzicka
EADS Astrium GmbH, Friedrichs-
hafen
ESA
ESA/Rosetta/Philae/CIVA
ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team
MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/
DASP/IDA
ESO/S. Steinhöfel
IPS, Royal Swedish Academy of
Sciences, Sweden
Jet Propulsion Lab., Pasadena,
USA
J. Herting, Göttingen
MPG (M. Ebener)
MPS, Göttingen
NASA
NASA/JPL-Caltech
NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/
DLR/IDA
NASA/SDO
PHT Airpicture GmbH
Thales Alenia Space
University of Arizona, Tucson, USA

Konzept und Graphik-Design:
N. Krupp, MPS

Druck:
Druckerei Rambow, Göttingen

Göttingen 2016, Auflage: 2000

Diese Broschüre und weitergehen-
des Informationsmaterial,
ein Videofilm oder Tätigkeitsbe-
richte über die Arbeit am
Institut können gegen Selbstkos-
tenpreis vom Institut bezogen
werden.

