

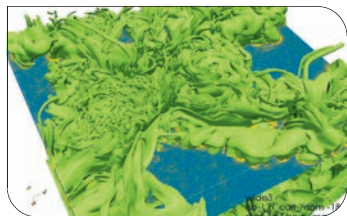
Grundlagenforschung
in Österreich:
Beispiele für FWF-
geförderte Spitzen-
forschung

Die verschwundene Atmosphäre



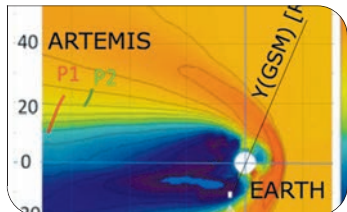
Gemeinsam mit seinem Team untersucht der Astrophysiker Herbert Lichtenegger, auf welche Weise der Planet Mars seine Atmosphäre im Laufe der Zeit verloren hat. Die gewonnenen Erkenntnisse tragen dazu bei, physikalische Prozesse besser kennenzulernen, die auf lange Sicht für die Entwicklung terrestrischer Atmosphären verantwortlich sind.

Die Sonne im Blick



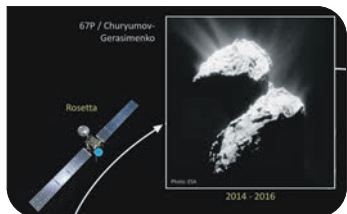
Eine 3D-Simulation der Sonnenoberfläche von Friedrich Kupka und Herbert Muthsam und deren Teams zeigt turbulente Konvektion mit vielen Wirbelröhren vor allem in Abströmgebieten.

Studien am irdischen Magnetschweif



Der Astrophysiker Zoltán Vörös untersucht jene Mechanismen, mit denen die Magnetosphäre der Erde auf Sonnenwinde reagiert. Seine Arbeit trägt dazu bei, die Plasmaumgebung der Erde besser zu verstehen.

Kometenstaub aus der Nähe



Kurt Varmuza (TU Wien) und das COSIMA-Team sammelten, fotografierten und analysierten die Staubteilchen des Tschurjumow-Gerasimenko-Kometen. Ziel ist es, herauszufinden, aus welchen chemischen Substanzen der Komet zusammengesetzt ist.

Ein neuer Blick zu Sternen, Nebeln und Galaxien



Die Radioteleskope des Alma-Observatoriums in der chilenischen Atacama-Wüste machen bisher unbeobachtbare Teile des Weltraums sichtbar. In Kombination mit Messungen in anderen Wellenlängebereichen tragen sie zu einem vollständigeren Bild des Universums bei.

[ESO/C. Malin]

Astronomie. Mit modernen Beobachtungsmethoden wird das, was für unsere Augen unsichtbar ist, sichtbar gemacht. Daraus ergeben sich völlig neue Einsichten.

Woran denk man als erstes, wenn man an Astronomie denkt? Den meisten wird wohl ein einsamer Sternengucker einfallen, der durch ein Fernrohr in den Nachthimmel schaut. Für lange Zeit war diese Assoziation völlig richtig. „Astronomie ist im Wesentlichen eine Wissenschaft des Lichtes: Wir analysieren das Licht, das von Sternen und anderen Himmelsobjekten auf die Erde fällt“, sagt Franz Kerschbaum, Forscher am Institut für Astrophysik der Universität Wien. Nachsatz: „Wir haben – mit wenigen Ausnahmen wie etwa Gravitationswellen oder kosmischen Teilchen – keine andere Boten als das Licht.“

Allerdings ist Licht nicht gleich Licht: Das sichtbare Licht bildet nur einen kleinen Ausschnitt der Realität ab. Viele Vorgänge im Weltall äußern sich in anderen

Wellenlängenbereichen – von Radio-, Infrarot und UV-Strahlung bis hin zu Röntgen- und Gammastrahlung. Wenn Sterne geboren werden oder auch in ihrer Endphase sind sie meist in dichte Staubwolken eingehüllt, die kein sichtbares Licht durchlassen, aber sehr wohl mit Infrarotdetektoren oder mit großen Radioteleskopen beobachtbar sind.

„Wir haben – mit wenigen Ausnahmen – keine anderen Boten von den Sternen zu uns als das Licht.“

hat“, so Kerschbaum. Daher stehe die moderne Astronomie zu einem guten Teil unter dem Motto „das Unsichtbare sichtbar machen“. Zu den unsichtbaren Phänomenen im Weltall zählt auch die kosmische Strahlung, das sind hochenergetische Teilchen wie etwa Protonen,

die von bestimmten Objekten im Kosmos ausgestrahlt werden (siehe Artikel unten). Erst die Zusammenschau verschiedener Signale aus dem Weltall („multi messenger“) ermöglicht eine ganzheitliche Sicht auf das Universum – woraus sich ein Perspektivenwechsel ergibt, bei dem man stets Neues lernt und auf Überraschungen gefasst sein muss.

Voraussetzung dafür sind die richtigen Beobachtungsinstrumente. Und in diesem Bereich ist die österreichische Astronomie höchst aktiv. Das beginnt bei der Entwicklung neuartiger Kamerasysteme und reicht hin bis zu mathematischen Verfahren, mit denen Bildfehler z. B. aufgrund von atmosphärischen Störungen korrigiert werden. Österreichische Astrophysiker arbeiten an neuen Instrumenten des „European Extremely Large Telescope“ (E-ELT) mit, das zur Zeit von der Europäischen Südsternwarte (ESO) gebaut wird – Österreich ist seit zehn Jahren Mitglied bei der ESO. Mit dem Instrumenten MICADO bzw. METIS an

dem Wiener Astrophysiker maßgeblich beteiligt sind, soll es z. B. möglich werden, auch sehr leuchtschwache Objekte und deren Bewegungen im Nah- bzw. Mittlerem Infrarot-Bereich zu untersuchen.

Intensive Kooperationen

Auch an den meisten europäischen Weltraumteleskop-Projekten arbeiten heimische Forscher mit. Und sie bauen auch selbst Satelliten: Entwickelt und erfolgreich gestartet wurden beispielsweise zwei Kleinstsatelliten der BRIT-Constellation, mit denen Helligkeitsschwankungen von Sternen ermittelt werden können. Durch die Auswertung solcher Daten kann man Planeten in anderen Sonnensystemen (Exoplaneten) auf die Spur kommen (siehe Artikel rechts). Bei der Satellitentechnik kooperieren die Astronomen und Astrophysiker der Universitäten Wien, Graz und Innsbruck eng mit dem Institut für Weltraumforschung der Akademie der Wissenschaften (ÖAW) in Graz sowie mit der Technischen Universität Graz.



Eine der zentralen Fragen der Astronomie ist, wie das Universum, unser Sonnensystem und unser Planet entstanden sind – und wie es mit ihnen weitergeht. Das beginnt mit extragalaktischen Fragestellungen, denen sich Bodo Ziegler an der Universität Wien widmet. Untersucht werden beispielsweise sogenannte „Proto-Galaxienhaufen“ (noch in Entstehung begriffene Galaxien) in einer Entfernung von zehn Milliarden Lichtjahren. Dabei blickt man nicht nur sehr weit ins Weltall hinaus, sondern auch in die Frühzeit des Universums zurück.

Dreh- und Angelpunkt bei vielen astronomischen Fragen ist der Lebenszyklus von Sternen – von der Entstehung bis zum Tod. Sterne werden nicht aus dem Nichts geboren, sondern benötigen dazu Materie, die sie aus ihrer Umgebung einsammeln. Sterne verändern sich mit der Zeit, je nach Größe durchlaufen sie typische Entwicklungsstadien. Über die Vorgänge in jungen Sternen, in denen Wasserstoff durch die Gravitation zusammengepresst wird, bis die Atomkerne verschmelzen, ist nur wenig bekannt. Die Innsbrucker Astrophysikerin Konstanze Zwintz nähert sich diesen Prozessen mit

einer Methode namens „Astroseismologie“. Beobachtet werden dabei Schwingungen (Pulsationen), die etwas über den inneren Aufbau und über die ablaufenden Prozesse aussagen.

Entstehung von Planeten

Unsere Sonne steht im Zentrum des Interesses von Astronomen der Universität Graz (siehe Artikel unten). Derzeit ist diese quälend lang und höchst aktiv, doch in einigen Milliarden Jahren wird sie schwächer werden. Dann wird sie zu einem Roten Riesen, der zwar kühler, aber dafür umso größer wird – und die Erde verschlucken und ausglühen wird. In diesem Stadium geben Sterne sehr viel Materie ab, aus der im Endeffekt wieder neue Sterne entstehen können. Josef Hron untersucht an der Universität Wien die Prozesse, die damit einhergehen. Analysiert werden u. a. Helligkeitsschwankungen, die durch Sternschwingungen verursacht werden. Mit Hilfe von mathematischen Modellen wird versucht, die verschiedensten Schwingungen physikalischen Prozessen zuzuordnen.

Eng mit der Bildung von Sternen verknüpft ist die Entstehung von Planeten: Diese bilden sich aus

protoplanetaren Scheiben, die aus Gas und Staub bestehen. Dabei laufen recht komplexe Prozesse ab, die vielfach noch ungeklärt sind. Zeugnis davon legen Meteoriten ab. Im Naturhistorischen Museum Wien gibt es eine der weltgrößten Sammlungen – und mit Christian Köberl als Direktor einen renommierten Forscher in dem Bereich.

All diese Prozesse – von der Sternentwicklung bis zur Bildung von Planeten – sind wichtig für die Frage, ob Leben entstehen kann. Damit wird die uralte Frage berührt, ob wir allein im Universum sind oder ob es vielleicht irgendwo eine „zweite Erde“ gibt. Damit ein Planet „habitable“ ist, müssen viele Bedingungen erfüllt sein – von rein astronomischen Parametern wie der Art des Sterns und dem Material, aus dem ein Planet besteht, über die Strahlungsverhältnisse und die Temperatur bis hin zum Vorhandensein von flüssigem Wasser und einer Atmosphäre. Die Habitabilität ist aktuell der größte Arbeitsbereich der österreichischen Astronomie – die Aktivitäten in Wien, Graz und Innsbruck sind im Nationalen Forschungsnetzwerk „Wege zur Habitabilität“ unter der Leitung von Manuel Güdel gebündelt (siehe Artikel rechts).

Fremde Planeten

Habitabilität. In einem Spezialforschungsbereich fragt man nach Bedingungen für Leben.

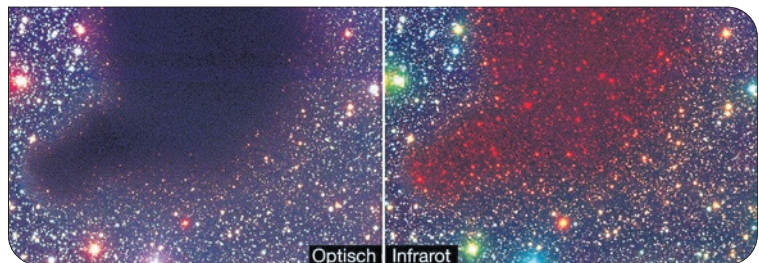
In den vergangenen Jahren wurden immer mehr sogenannte „Exoplaneten“ – Planeten in anderen Sonnensystemen – nachgewiesen. Das gab und gibt der alten Frage Auftrieb, ob es auch anderswo im Weltall Leben geben könnte. Exoplaneten werden meist dadurch gefunden, dass bei Sternen periodische Helligkeitsschwankungen festgestellt werden. Diese kommt dadurch zustande, dass der Planet einen Teil der Sonnenscheibe abdeckt, wenn er vor ihr vorbeizieht. Aus Helligkeits-Messdaten kann man bereits einiges ablesen: Die Größe ergibt sich aus der Fläche, die der Planet abdeckt; die Geschwindigkeit aus der Umlaufperiode bzw. aus direkten Messungen; anhand der Gesetze der Himmelsmechanik kann man dann berechnen, wie schwer er ist. Aus Größe und Masse lässt sich schließlich die Dichte berechnen – so weiß man, ob es sich um einen Gas- oder einen Gesteinsplaneten handelt.

Ob der Planet „habitable“ ist, also grundsätzlich Leben ermöglicht, kann man daraus noch nicht ableiten. Dazu ist es u. a. nötig, dass genug Sonnenstrahlung auf die Oberfläche trifft, sodass Wasser flüssig sein kann, dass aber nicht zu viel Strahlung eintrifft, die das Leben zerstören könnte. Die Gravitation muss stimmen, damit der Planet eine Atmosphäre halten kann, diese muss eine passende Zusammensetzung haben, es muss Wasser geben (ohne dem kein Leben, wie wir es kennen, möglich ist) usw.

Die Erforschung der Habitabilität ist einer der großen Schwerpunkte der österreichischen

Astronomie und Astrophysik. 2012 wurde das Nationale Forschungsnetzwerk „Wege zur Habitabilität: Scheiben zu Sternen, Planeten & Leben“ eingerichtet. Dabei geht es um grundlegende Fragen: „Unser Hauptziel ist es zu verstehen, wie habitable Umgebungen in jungen, aktiven Sternensystemen entstehen und überdauern können“, erläutert der Koordinator Manuel Güdel. Das betrifft beispielsweise Wechselwirkungen zwischen dem sich bildenden Stern und der protoplanetaren Scheibe, aus der die Planeten entstehen. Dabei beeinflusst z. B. das Strahlungs-, Teilchen-, und Windumfeld sowie der Magnetismus der jungen Sterne die Materialien. Untersucht wird auch, ob und wie sich Planetenatmosphären und Magnetosphären unter extremen Bedingungen entstehen können.

Eine interessante Frage ist z. B., ob Planeten eine für Leben passende Umlaufbahn haben. Elke Pilat-Lohnger (Universität Wien) hat herausgefunden, dass Planetensysteme sehr instabil sein können: Schon eine kleine Veränderung der Größe oder des Abstands von Nachbarplaneten können dazu führen, dass die Umlaufbahn eine lang gestreckte Ellipse wird – was bedeutet, dass sich die Strahlungs- und Temperaturbedingungen periodisch extrem verändern. Auch bei Doppelsternen – bei denen die meisten Exoplaneten gefunden werden – dürfte man laut den aktuellen Forschungsergebnissen nicht von einer kreisförmigen Umlaufbahn ausgehen. Die Planeten laufen daher Gefahr, periodisch aus der habitablen Zone zu geraten.



Mit Infrarot-Licht kann man durch Wolken durchschauen.

[Joao Alves/ESO]

Rasante Teilchen aus dem All

Teilchenastrophysik. Anknüpfend an die Tradition, die Victor Franz Hess begründete, wird in Innsbruck nun wieder der Teilchenstrom erforscht, der aus dem Weltall auf die Erde trifft.

Der 7. August 1912 war ein denkwürdiger Tag: Der junge Grazer Physiker Victor Franz Hess entdeckte bei einem seiner Ballonaufstiege, der ihn von Aussig (Ústí nad Labem) in Nordböhmen nach Brandenburg in eine Höhe von 5350 Metern führte, eine durchdringende Strahlung. Er nannte diese zuerst „Höhenstrahlung“. Als im Jahr darauf ein Berliner Forscherkollege die Beobachtung bestätigte, wurde klar, dass es sich dabei um kosmische Strahlung handelte – also um Teilchen, v. a. Protonen, die aus dem Weltall kommen. 1936 wurde Hess, damals Professor und Leiter des neu entstandenen Instituts für Strahlenforschung an der Universität Innsbruck, gemeinsam mit Carl David Anderson der Nobelpreis für Physik verliehen. Auf seine Initiative geht die Messstation am Hafelekar in Innsbruck zur Beobachtung der kosmischen Strahlung zurück.

Hess gilt heute als Begründer der Astroteilchenphysik. Dieser Zweig der Astrophysik wendet Theorien und Methoden der Teilchenphysik auf astrophysikalische

Fragestellungen an. Die Beobachtung der kosmischen Strahlung ermöglicht unabhängig von Lichtwellen Beobachtungen des Geschehens im Kosmos – ganz im Sinne einer erwünschten „Multi-Messenger“-Astrophysik.

Beobachtet werden dabei neben den kosmischen Teilchen selbst – die u. a. mit Geigerzählern nachgewiesen werden – die Folgeeffekte, wenn diese in die Atmosphäre eintreten: Ähnlich wie in einem Teilchenbeschleuniger entstehen durch Kollisionen von Teilchen ganze Kaskaden neuer Teilchen, die beobachtet werden. Überdies entsteht durch Wechselwirkungen der kosmischen Teilchen mit Strahlungsfeldern oder Materie Gammastrahlung, die ebenfalls gemessen werden kann.

Vor gut zehn Jahren hat die Universität Innsbruck beschlossen, die lange, auf Hess zurückreichende Tradition anzuknüpfen:

Olaf Reimer, damals Forscher an der Stanford University, wurde zum Professor für Astroteilchenphysik zu berufen. Einer seiner Forschungsschwerpunkte ist es, zu ergründen, woher die kosmische Strahlung kommt. Die größten Fortschritte in diesem Bereich kommen von der Messung der hochenergetischen

Bei der Explosion alter Sterne werden viele Teilchen und Gammastrahlen ins Weltall emittiert.

Weltraum-Gamma-Teleskop gelang Reimer gemeinsam mit internationalen Kollegen der Nachweis, dass die Strahlung von Supernovae ausgeht. Bei der Explosion von alten, massereichen Sternen, die sich als kurzzeitiges, helles Aufleuchten bemerkbar macht, werden gigantische Mengen an Teilchen und Gammastrahlen ins Weltall emittiert.

tiert. Weitere Kandidaten für solche kosmische Teilchenbeschleuniger sind u. a. Galaxienhaufen, bestimmte Doppelsternsysteme oder Sternentstehungsgebiete. Näheres will man mit der nächsten Generation an Messgeräten ergründen, dem Cherenkov Telescope Array, bei dem Reimer involviert ist.

Kurz nach dem Urknall

Die Astroteilchenphysik wird auch benötigt, um die Entstehung des Universums kurz nach dem Urknall aus einem extrem dichten und heißen Frühzustand heraus zu erklären. Rätselhaft ist dabei z. B., warum es offenbar mehr Materie als Antimaterie gibt. Teilchenstrahlung spielt aber auch bei Sonnenwinden, die auf die Erde treffen und hier das „Weltraumwetter“ mitbeeinflussen, eine große Rolle. Seit der Inbetriebnahme des Teilchenbeschleunigers LHC am Forschungszentrum CERN gibt es überdies eine gemeinsame Vision der Teilchen- und Astroteilchenphysik: das Bestreben, die mysteriöse Natur der Dunklen Materie zu klären.

Die Sonne und das Weltraumwetter

Unser Zentralgestirn wird nach allen Regeln der wissenschaftlichen Kunst erforscht. Die Ergebnisse dienen auch dazu, um Störungen, die von Massenausbrüchen oder Flares der Sonne herrühren, besser prognostizieren zu können.

Alle Pflanzen, Tiere und Menschen leben von der Aktivität der Sonne. In ihrem Inneren wird durch Kernreaktionen sehr viel Energie freigesetzt, die in Form von Strahlung nach außen strömt. Im äußersten Drittel wird die Energie durch ein riesiges konvektives Strömungssystem weiter nach außen transportiert und in der Sonnenatmosphäre schließlich in Lichtstrahlung umgewandelt. Wegen der – relativen – Nähe zur Erde kann die Sonne wie kein anderer Stern in allen Details untersucht werden. Genaues gesagt: ihre Oberfläche. Aus der Beobachtung wird dann – u. a. mit Computersimulationen – auf Vorgänge in tieferen Schichten geschlossen. An weltweit führender Stelle sind in diesem Bereich Astronomen der Universität Graz tätig, die das Observatorium Kanzelhöhe (Treffen am Ossacher See, Kärnten) betreibt, das auf Sonnen- und Umweltbeobachtungen spezialisiert ist. Ein zentrales Messgerät ist dabei ein Spektrometer, das die Sonne spezifisch in der „H-alpha“-Spektrallinie von neutralem

Wasserstoff in hoher zeitlicher Auflösung beobachtet. Arnold Hanslmeier studiert z. B. die Konvektionsbewegungen der Gase auf der Sonne, die in Form einer Granulation, einem Muster aus helleren und dunkleren Bereichen, erkennbar sind. Durch die Simulation der zu Grunde liegenden Vorgänge will man mehr über den Energietransport in der Sonne erfahren. Weiterhin rätselt man sich etwa Sonnenflecken, die ein Ausdruck von magnetischen Phänomenen sind und eng mit dem elfjährigen Sonnenaktivitäts-

zyklus verbunden sind. Hanslmeier hat insbesondere „Magnetic Bright Points“ im Visier, das sind die kleinsten mit Teleskopen sichtbaren Sonnen-Phänomene (Durchmesser: rund 200 Kilometer). Die Vorgänge sind höchst dynamisch, manche haben eine Lebenszeit von nur zwei Minuten.

Viel Prozesse auf und in der Sonne sind auch für die Erde bedeutsam, weil sie das sogenannte „Weltraumwetter“ beeinflussen: Gelangen hochenergetische Teilchen von der Sonne in Richtung Erde, können sie hier die Telekom-

munikation stören oder sogar Elektrizitätsnetze zusammenbrechen lassen. Um eine zuverlässige Prognose des Weltraumwetters zu ermöglichen, ist eine genauere Kenntnis der Vorgänge in Inneren der Sonne unumgänglich. Astrid Veronig untersucht seit Jahren, wie „Flares“ (Strahlungsausbrüche) und koronare Massenauswürfe entstehen und in welchem Zusammenhang sie mit anderen Phänomenen stehen. Dabei werden Daten der Messgeräte auf der Kanzelhöhe mit solchen aus Satelliten verknüpft, mit denen beispielsweise



Franz Kerschbaum

Pavillon kuratiert von Pavilion curated by

Franz Kerschbaum

Franz Kerschbaum lehrt beobachtende Astrophysik am Institut für Astrophysik der Universität Wien. Seine Forschungsgebiete umfassen die Spätstadien der Sternentwicklung, astronomische Instrumentenentwicklung mit Schwerpunkt Weltraumexperimente sowie wissenschaftshistorische Fragestellungen. Beratende Tätigkeiten übt er für eine Vielzahl von



universität wien

Mit Beiträgen von
With contributions from

Christian Köberl

Werner Pözl



Olaf Reimer, Konstanze Zwintz



universität innsbruck