

# Kosmischer Staub Der Ursprung unserer Erde

## Kosmischer Staub kommt zu uns...

Jeder von uns ist schon einmal, ohne es zu wissen, mit einem winzigen Bruchstück eines anderen Himmelskörpers - eines Mondes, Kometen oder eines Asteroiden - in Berührung gekommen. Unsere Erde ist einem ständigen Strom mikroskopisch kleiner Materieteilchen ausgesetzt, die aus dem scheinbar leeren Weltraum zu uns kommen (Abbildung A). Die Erde sammelt auf diese Weise 40 Tonnen außerirdischen Materials pro Tag auf, das sich gleichmäßig über ihre Oberfläche verteilt.

Diese kleinsten Materiekörnchen erreichen die Erde mit enormen Geschwindigkeiten. Manche dieser Teilchen fliegen hundertmal schneller als Geschwindigkeiten. Trotz ihrer hohen Geschwindigkeiten werden sie jedoch sanft von der Erdatmosphäre abgebremst und sinken von uns unbemerkt wie Schneeflocken zum Erdboden herab. Tauchen dagegen größere, etwa millimetergroße Körner in die Erdatmosphäre ein, verglühen sie und können als Sternschnuppen beobachtet werden. Diese Lichtblitze treten manchmal wie ein Feuerwerk am



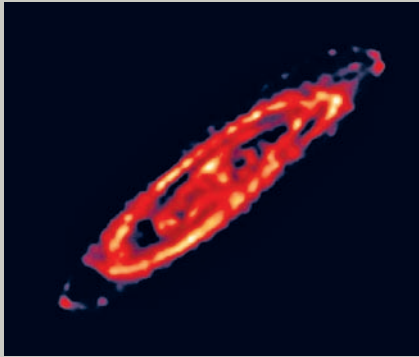
nächtlichen Himmel auf. Manche sehr schwache Sternschnuppen entstehen durch Staubteilchen, die von sehr weit außerhalb unseres Sonnensystems, zu uns kommen.

Normalerweise stellen kosmische Staubteilchen keine Gefahr für Menschen auf der Erde dar. Sie können jedoch künstlichen Erdsatelliten und bemannten Raumstationen gefährlich werden, wie z. B. der Meteorstrom der Leoniden (Abbildung B). In sehr seltenen Fällen fallen größere (Meteorite genannte) Brocken vom Himmel, die auch ernsthafte Schäden anrichten können.



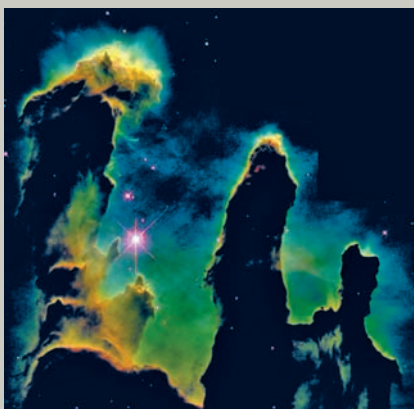
**B** Der Leoniden-Meteorstrom im Jahre 1966.

**A** Kleine, nur einige Tausendstel Millimeter große Staubteilchen im Sonnensystem reflektieren und streuen das Sonnenlicht und sind dadurch von der Erde aus beobachtbar (Zodiakallicht). Dieser Lichtschein lässt sich kurz nach Sonnenuntergang oder kurz vor Sonnenaufgang beobachten. Auf dieser Aufnahme vom April 1997 sind auch der Komet Hale-Bopp (oben rechts) und die Plejaden (Siebengestirn; oben links) zu sehen. (Bild: M. Fulle)



**C** Die Andromeda-Galaxie (M31) aufgenommen mit dem Infrarot-Weltraum-Observatorium ISO (oben, Bild: M. Haas) und einer optischen Kamera (unten). Das Infrarotbild zeigt den Staub in dieser Galaxie.

**D** Der Adlernebel. Eine riesige Ansammlung von Staub und Gas im Weltraum, in der sich Sterne und Planetensysteme bilden. (Bild: NASA)



## Welche Bedeutung hat kosmischer Staub?

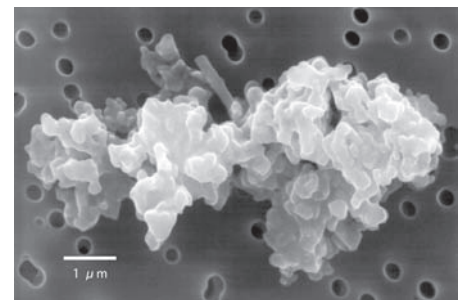
Riesige Ansammlungen von Staub und Gas werden in unserer und in anderen Galaxien beobachtet (Abbildung C). Wie wir heute wissen, sind diese interstellaren Wolken die Geburtsstätten von Sternen und Planetensystemen. Beim Gas handelt es sich überwiegend um Reste des Urknalls, aus dem das gesamte Universum vor etwa 13 Milliarden Jahren entstanden ist. Der Staub dagegen stammt nicht aus dem Urknall, sondern wurde in späteren Generationen von Sternen durch Kernverschmelzung erzeugt und in den sie umgebenden Weltraum hinausgeblasen. Dort konnte er sich in interstellaren Wolken ansammeln (Abbildung D). Vor 4,6 Milliarden Jahren entstand aus einer solchen Wolke unser Sonnensystem. Kosmischer Staub existierte daher bereits bei der Entstehung der Erde und umgibt sie wie ein ständiger Begleiter.

Kosmische Staubteilchen repräsentieren die Urmaterie unseres Sonnensystems und tragen Informationen über ihre eigene Entstehung und über Prozesse, durch die sie seit ihrer Entstehung verändert wurden. Untersuchungen von kosmischem Staub liefern daher Informationen darüber, wie unser Sonnensystem einschließlich der Erde entstanden ist und warum es die Gestalt hat, in der wir es kennen. Die Staubteilchen bringen zudem Informationen über die Entstehung von Sonnensystemen aus den Tiefen des Weltraums quasi bis vor unsere Haustür (Abbildung E).



## Staub im Weltraum

Wie und wo findet man diese kosmischen „Datenspeicher“? Ablagerungen kosmischen Materials, das ständig auf die Erde „niederregnet“, wurden bereits im 19. Jahrhundert in Tiefsee-Sedimenten nachgewiesen. Man könnte annehmen, dass man nur die auf die Erde fallenden Teilchen einsammeln muss, um sie im Labor zu untersuchen. Hierfür ist jedoch außer in den reinsten Gebieten der Erde, wie sie heute noch in der Antarktis anzutreffen sind, die Verunreinigung mit irdischem Material viel zu groß. Darüber hinaus lassen sich mit sehr hoch fliegenden Flugzeugen Partikel in der Atmosphäre einsammeln und als extraterrestrisch identifizieren (Abbildung F). Bei beiden Verfahren ist jedoch ungewiß, woher die Teilchen kommen, d. h. ob sie von Kometen oder Asteroiden aus unserem Sonnensystem stammen oder ob sie von weiter her aus dem interstellaren Raum zu uns gekommen sind. Man muss daher höher hinaus: Mit Raumsonden ist es seit einigen Jahren möglich, den Ursprung der Teilchen zu bestimmen und eine klare Trennung vorzunehmen. Unsere nicht ganz einfache Aufgabe ist es, Teilchen verschiedenen Ursprungs zu identifizieren und ihre Informationen zu entschlüsseln.



**F** Ein interplanetares Staubteilchen, das mit einem Flugzeug in der Hochatmosphäre der Erde eingesammelt wurde. (Bild: NASA)

**E** Die kleine Schale enthält mehr als eine Trillion mikroskopisch kleiner Diamantkristalle. Der Kristallstaub wurde mit Säure aus einem Meteoriten herausgelöst. Der interstellare Diamantstaub ist in der Nähe eines anderen Sterns entstanden und älter als unser Sonnensystem. (Bild: H. McSween)

## Der Informationsgehalt kosmischer Staubteilchen

Was lernt man durch die Untersuchung kosmischer Staubteilchen? Mittels kosmischen Staubes kann man beispielsweise die Entstehung unseres Sonnensystems im Detail studieren: Interstellarer Staub, der von außerhalb des Sonnensystems zu uns kommt, ist die Urkomponente, aus der sich auch heute noch ständig Sterne und Sonnensysteme bilden. Kometenstaub (Abbildung G) ist - soweit wir heute wissen - das am wenigsten veränderte Material aus der Entstehungsphase des Sonnensystems, das heute noch existiert. Man vermutet, dass er zu einem Teil aus unverändertem interstellarem Staub besteht. Staub von Asteroiden stammt von größeren planetenähnlichen Körpern, die bei ihrer Bildung schon stark chemisch verändert waren. Mit kosmischem Staub lassen sich daher Schritt für Schritt die Prozesse studieren, die in den verschiedenen Phasen bei der Entstehung des Sonnensystems und der Erde vorgeherrscht haben.

Durch Messungen mit Raumsonden konnten in den vergangenen Jahren auch Staubteilchen in den Umgebungen der Riesenplaneten Jupiter und Saturn untersucht werden. Im Jupitersystem ist der Mond Io sehr stark vulkanisch aktiv und setzt Staubteilchen frei, die in seinen Vulkanfontänen in sehr große Höhen transportiert werden können (Abbildung H). Diese Teilchen werden dann elektrisch aufgeladen und durch das Magnetfeld des Jupiter bis weit in den interplanetaren Raum und sogar bis in Erdnähe geschleudert. Auf dem Saturnmond Enceladus wurden kürzlich Eisgeysire entdeckt, in denen auch große Mengen an Staub freigesetzt werden. Untersuchungen der Zusammensetzung dieser Teilchen haben gezeigt, dass sie überwiegend aus Wassereis und mineralischen Bestandteilen zusammengesetzt sind. Enceladus ist damit die Hauptquelle für einen riesigen Staubring um Saturn (E-Ring; Abbildung I).

## Kometenmaterial in irdischen Labors

Die Raumsonde Stardust hat zum ersten Mal Staub in der Nähe eines Kometen eingesammelt und im Jahr 2006 erfolgreich zur Erde gebracht. Die Sonde besaß einen speziellen Kollektor, der beim Durchflug durch die Gashülle (Koma) des Kometen Staubteilchen einfing. Damit ist zum ersten Mal die Untersuchung von Materie, deren Ursprung eindeutig auf einen Kometen zurückgeführt werden kann, in irdischen Labors möglich. Die ersten Ergebnisse haben gezeigt, dass die Entstehung unseres Sonnensystems wesentlich komplexer abgelaufen sein muss, als man bisher angenommen hat: Aus dem Kollektormaterial konnten kleinste Mineralkörnchen extrahiert werden, die bei wesentlich höheren Temperaturen entstanden sein müssen als die Hauptbestandteile des Kometenkörpers (Abbildung J). Von besonderem Interesse sind außerdem die in der Kometenmaterie enthaltenen organisch-chemischen Moleküle. Sie könnten eine wichtige Rolle bei der Entstehung des Lebens auf der Erde gespielt haben.

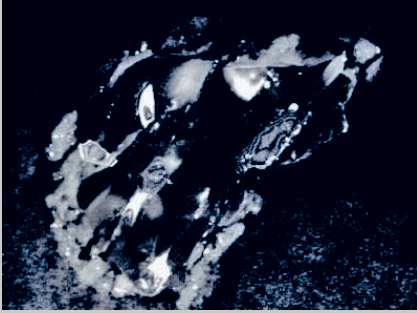
I Der Planet Saturn und sein Ringsystem im Gegenlicht (Fotomontage). Ganz außen sieht man den dünnen E-Ring, der überwiegend durch Staubteilchen aus den Eisgeysiren des Mondes Enceladus aufrechterhalten wird. (Bild: NASA)



G Der Kern des Kometen Halley, aufgenommen mit der Kamera der Raumsonde Giotto. Der Kern hat eine maximale Ausdehnung von ca. 30 Kilometern. (Bild: H.-U. Keller, MPS)



H Der Jupitermond Io mit einer Vulkanfontäne (links). Der Durchmesser dieses Mondes beträgt 3636 Kilometer. (Bild: NASA)



**J** Ein nur wenige Tausendstel Millimeter großes FeS-Mineralkörnchen, das aus den Proben der Stardust-Sonde extrahiert wurde. Es ist bei wesentlich höheren Temperaturen entstanden als der überwiegende Teil des Kometenmaterials. (Bild: NASA)

## Die Raumsonde Rosetta

Die Sonde Rosetta wird in einigen Jahren wesentlich umfassendere Untersuchungen eines Kometen erlauben. Nach einer Flugzeit von zehn Jahren wird sie im Jahr 2014 am Kometen Churyumov-Gerasimenko ankommen und diesen für mindestens ein Jahr auf seiner Bahn um die Sonne begleiten. Rosetta führt ein Landegerät mit, welches erstmals auf einem Kometenkern landen soll. Es soll die Oberfläche und den inneren Aufbau des Kerns direkt untersuchen, während die den Kern begleitende „Muttersonde“ parallel dazu Untersuchungen der inneren Koma des Kometen durchführen soll. Wir hoffen, damit die Entstehungsbedingungen in der Frühzeit unseres Sonnensystems besser verstehen zu können. Möglicherweise wird dies auch Antworten auf Fragen über die Entstehung von Planeten in anderen Sonnensystemen liefern.

Diese äußeren Prozesse spielen jedoch nicht nur in Form der Sternschnuppen und des herunterregnenden Staubes eine Rolle. Beispielsweise gibt es Hinweise darauf, dass kurz nach der Entstehung der Erde der Einfall von Kometen eine wesentliche Rolle bei der Bildung der Ozeane gespielt haben könnte. Davon unabhängig deuten Messungen in Tiefsee-Sedimenten und von Mondgestein darauf hin, dass sich vor wenigen Millionen Jahren in nicht allzu großer Entfernung von unserem Sonnensystem eine gigantische Sternexplosion, eine sogenannte Supernova, ereignet haben muss. All diese Vorgänge zeigen, dass die Erde nicht isoliert im Weltraum existiert, sondern ständig Einflüssen von außen ausgesetzt ist, die zu gravierenden Veränderungen der Erdatmosphäre und des Klimas geführt haben könnten. Es wird sogar spekuliert, dass das Leben nicht auf der Erde selbst entstanden, sondern von außen durch kosmische Materie „eingeschleppt“ worden sein könnte.

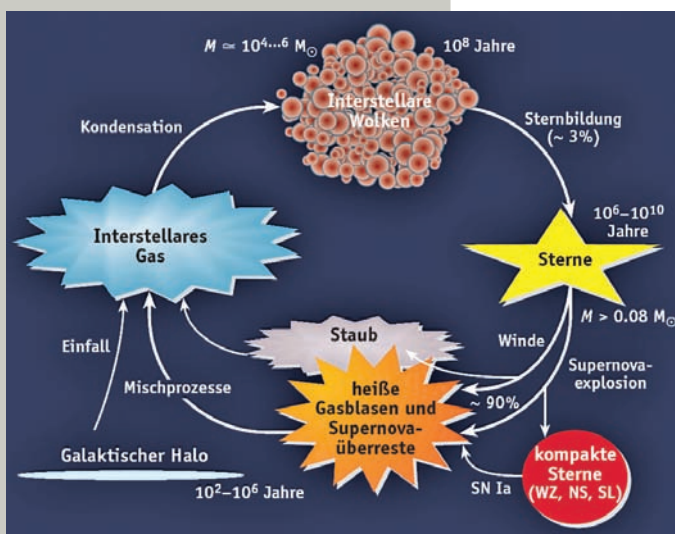
## Das ruhelose Universum

### Die Erde im Wechselspiel äußerer Einflüsse

**K** Materiekreislauf im Universum: Beim Tod von Sternen in Supernova-Explosionen entstehen schwere chemische Elemente. Diese Elemente werden zusammen mit Sternenresten in den Weltraum geschleudert und bilden den „Rohstoff“ für die nächste Generation von Sternen und Planeten. Auch unser Sonnensystem mit der Erde ist aus dieser Urmaterie aus Gas und Staub entstanden. (Bild: Sterne & Weltraum)

Jahrtausende lang herrschte die Vorstellung, dass die Erde sich weitgehend isoliert von ihrer kosmischen Umgebung entwickelt hat und dass extraterrestrische Vorgänge so gut wie keinen Einfluss auf uns haben. Der Kosmos galt als statisch und unveränderlich. Erst seit wenigen Jahrzehnten

setzt sich die Erkenntnis durch, dass das gesamte Weltall ständigen Veränderungen und Entwicklungsprozessen unterworfen ist, die alle Körper im Universum einschließlich unserer Erde mehr oder weniger stark beeinflussen (Abbildung K). Staub ist dabei ein wesentlicher Bestandteil.



### Der Kreislauf der Materie im Kosmos

Die kosmische Entwicklung ist ein immer währender Zyklus von Geborenwerden und Sterben, ähnlich wie wir es von unserer irdischen Welt kennen. Kosmische Entwicklungen erfolgen allerdings in wesentlich größeren Zeitspannen. Die Erde ist Vorgängen ausgesetzt, die entscheidende Auswirkungen auf unser irdisches Leben haben könnten. Das Verständnis dieser Prozesse ist von grundlegender Bedeutung für das Gesamtbild der Entwicklung der Erde. Wir stehen heute erst am Anfang, diese komplexen Mechanismen im Detail zu verstehen.

Harald Krüger  
 Max-Planck-Institut für  
 Sonnensystemforschung  
 Max-Planck-Straße 2  
 37191 Katlenburg-Lindau  
<http://www.mps.mpg.de>  
 Kontakt: [krueger@mps.mpg.de](mailto:krueger@mps.mpg.de)