

EXPEDITION SONNEN- SYSTEM

Kommt mit uns
auf Forschungsreise
ins All...

... vom 28. März 2018
bis 16. Juni 2019...

... in der Sonderausstellung
von focusTerra in der
Sonneggstrasse 5.

ETH zürich

focusTerra
Erdwissenschaftliches Forschungs- und
Informationszentrum der ETH Zürich

UNSER SONNENSYSTEM

Sterne wie unsere **Sonne** bestehen aus einem Gasgemisch und sind so heiss, dass in ihrem Inneren Kernfusionen stattfinden. Die dabei freigesetzte Energie bringt die Sterne zum Leuchten - je nach Temperatur in blau, gelb, orange oder rot.

UNSER STERN

-  ca. 1.4 Mio. km (110x Erde)
-  5'500 °C (15 Mio. °C im Kern)
-  100 kg = 2'800 kg
-  keine Umlaufbahn
-  1 **Sonnentag** = 25 Erdtage
-  keine Monde

DER HEISSESTE

-  ca. 12'000 km (fast wie Erde)
-  bis zu 470 °C
-  100 kg = 91 kg
-  1 **Venusjahr** = 225 Erdtage
-  1 **Venustag** = 117 Erdtage
-  keine Monde

DER ROTE

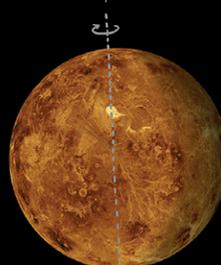
-  ca. 6'800 km (1/2 Erde)
-  -153 bis 20 °C
-  100 kg = 38 kg (wie auf Merkur)
-  1 **Marsjahr** = 687 Erdtage
-  1 **Marstag** = ca. 1 Erdtag
-  2 Monde: **Phobos, Deimos**

Terrestrische Planeten



MERKUR

58 Mio. km
= 0.4 AE



VENUS

108 Mio. km
= 0.7 AE



ERDE

150 Mio. km
= 1 AE



MOND



MARS

228 Mio. km
= 1.5 AE

SONNE

Distanz von der Sonne
AE = Astronomische Einheit (Erde = 1 AE)

DER SCHNELLSTE

-  ca. 5'000 km (1/3 Erde)
-  -173 bis 427 °C
-  100 kg = 38 kg
-  1 **Merkurjahr** = 88 Erdtage
-  1 **Merkurtag** = 176 Erdtage
-  keine Monde

UNSERE HEIMAT

-  12'742 km
-  -88 bis 58 °C (15 °C im Durchschnitt)
-  100 kg = 100 kg
-  1 **Erdjahr** = 365 Tage und 6 Stunden
-  1 **Erdtag** = 24 Stunden
-  **Mond**

MOND

-  ca. 3'400 km (1/4 Erde)
-  -233 bis 123 °C
-  100 kg = 16 kg
-  in 27 Tagen um die Erde
-  1 **Mondtag** = 27 Erdtage

Terrestrische (erdähnliche) Planeten bestehen hauptsächlich aus Gestein. Sie haben eine feste Oberfläche und allenfalls einen metallischen Kern.

Gasriesen bestehen überwiegend aus leichten Elementen wie Wasserstoff (H) und Helium (He), die im Inneren aufgrund hohen Drucks und niedriger Temperatur flüssig oder fest sein können.

Liegen die Gase zu grösseren Anteilen in fester Form vor (z.B. Eis), spricht man von **Eisriesen**.

KOMETEN

ZWERGPLANET IM ASTEROIDENGÜRTEL

- ☉ ca. 950 km
- 🌡️ -140 bis -70 °C
- 🏠 100 kg < 3 kg
- 🕒 1 **Ceresjahr** = 4.6 Erdjahre
- 🕒 1 **Cerestag** = 9 Erdstunden
- 🌙 keine Monde

DER MIT DEN RINGEN

- ☉ ca. 120'000 km (9 x Erde)
- 🌡️ -178 °C
- 🏠 100 kg = 107 kg
- 🕒 1 **Saturnjahr** = 29 Erdjahre
- 🕒 1 **Saturntag** = 11 Erdstunden
- 🌙 62 Monde, davon 53 offiziell bestätigt: z.B. **Titan, Rhea, Iapetus, Dione, Tethys**

DER WINDIGE EISRIESE

- ☉ ca. 50'000 km (4 x Erde)
- 🌡️ -214 °C
- 🏠 100 kg = 114 kg
- 🕒 1 **Neptunjahr** = 165 Erdjahre
- 🕒 1 **Neptuntag** = ca. 16 Erdstunden
- 🌙 14 Monde, davon 13 offiziell bestätigt: z.B. **Triton, Proteus, Nereid**

Gasriesen

Eisriesen

Kuipergürtel

Oortsche Wolke

CERES
414 Mio. km
= 2.8 AE

JUPITER
778 km
= 5.2 AE

SATURN
1430 Mio. km
= 9.5 AE

URANUS
2'870 Mio. km
= 19.2 AE

NEPTUN
4'500 Mio. km
= 30 AE

PLUTO
5'870 Mio. km
= 39.5 AE

DER GRÖSSTE

- ☉ ca. 140'000 km (11 x Erde)
- 🌡️ -148 °C
- 🏠 100 kg = 253 kg
- 🕒 1 **Jupiterjahr** = fast 12 Erdjahre
- 🕒 1 **Jupitertag** = 10 Erdstunden
- 🌙 69 Monde, davon 50 offiziell bestätigt, z.B. 4 Galileische Monde: **Ganymed, Kallisto, Io, Europa**

DER LIEGENDE EISRIESE

- ☉ ca. 50'000 km (4 x Erde)
- 🌡️ -216 °C
- 🏠 100 kg = 91 kg
- 🕒 1 **Uranusjahr** = 84 Erdjahre
- 🕒 1 **Uranustag** = 17 Erdstunden
- 🌙 27 Monde, nach Werken von William Shakespeare und Alexander Pope benannt: z.B. **Titania, Oberon, Umbriel, Ariel, Miranda, Puck**

ZUM ZWERGPLANETEN ABGESTUFT

- ☉ ca. 2'200 km (fast 1/5 Erde)
- 🌡️ ca. -230 °C
- 🏠 100 kg = 7 kg
- 🕒 1 **Plutojahr** = 248 Erdtage
- 🕒 1 **Plutotag** = ca. 6 Erdtage
- 🌙 5 Monde: **Charon, Kerberos, Nix, Hydra, Styx**

REISE ZUM MITTELPUNKT DES MARS

CHRISTIAN LIEBSKE führt als Senior Scientist in der Petrologie Hochdruckexperimente durch, in denen er das Innere von Planeten im Labor «nachkocht».



Mars Orbiter Mission Mangalyaan (ISRO)



Sojourner Pathfinder Mission (NASA)



Opportunity (NASA)



Mars Reconnaissance Orbiter MRO (NASA)



Wir wissen, dass der Marskern aus **Eisen, Nickel und Schwefel** besteht. Seinen Zustand - ob fest oder flüssig - kennen wir jedoch nicht. Das wollen wir mit Hochdruckexperimenten ändern.

Trace Gas Orbiter TGO (ESA)



Mars Atmosphere and Volatile Evolution MAVEN (NASA)



Seit Jahrzehnten analysieren wir Daten von Raumsonden. Daher kennen wir die Oberfläche und die Atmosphäre des Mars gut. Sein Inneres ist allerdings noch kaum erforscht.

Im Mittelpunkt des Mars herrscht ein Druck von circa 400'000 bar. Dies entspricht dem Gewicht von zehn Lokomotiven auf einem Zehnrappenstück.



Im Zentrum der Erde ist der Druck dagegen etwa neunmal höher!

Christian und sein Kollege Andrew bereiten ein Experiment vor, das Druck und Temperatur im Marskern simuliert.



Wir testen **Eisen-Nickel-Schwefel-Gemische**, die dem Marskern ähnlich sind.

Mit viel Fingerspitzengefühl baut Christian eine winzige Probe in die Druckzelle ein.



Ofenelement mit Probe
Füllmaterial
Druckzelle (Oktaeder)

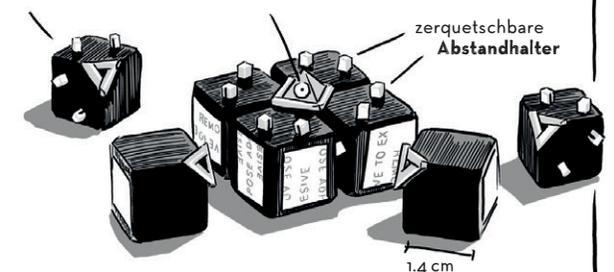
0.4 cm

Dann platziert er die Druckzelle im Zentrum von acht ultraharten Diamantwürfeln.

Diamantwürfel

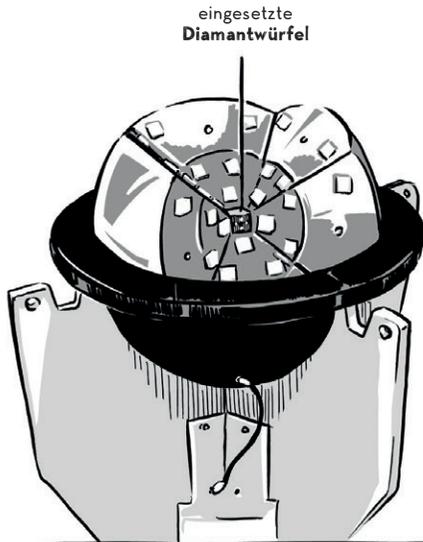
Druckzelle mit Probe

zerquetschbare Abstandhalter

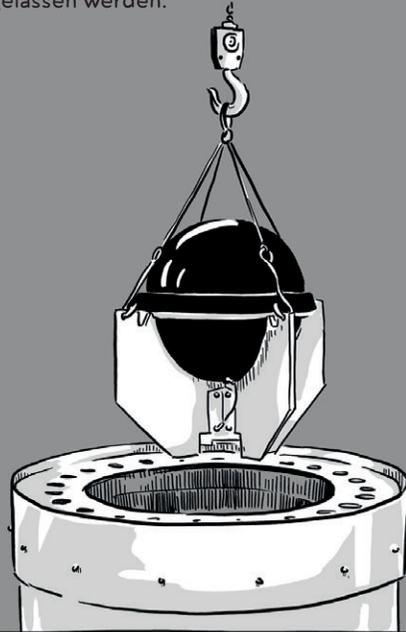


1.4 cm

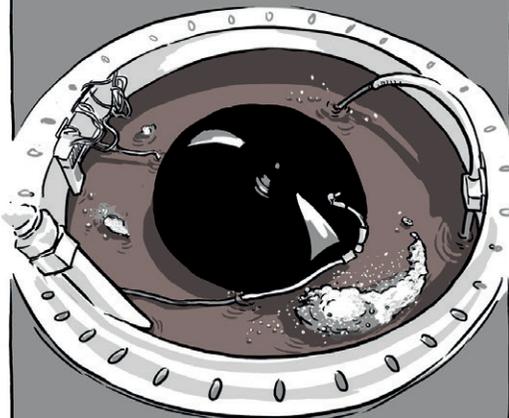
Die Würfel setzt er zwischen sechs massive Kugelsegmente aus Hartmetall, ...



... die abgedichtet in den Tank herabgelassen werden.

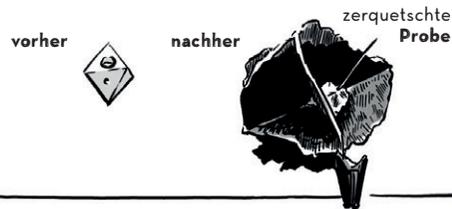


Der Tank wird mit Hydrauliköl gefüllt und mit einem Deckel verschlossen. Der Öldruck wird langsam erhöht und gleichmässig auf die Probe übertragen. Danach wird die Probe erhitzt.

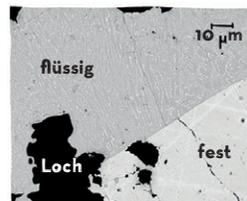


Stunden bis Tage später wird die Probe aus der völlig zerquetschten Druckzelle entfernt.

Da die Probe enorm schnell abgekühlt wurde, ist sie «schockgefroren». Das hat den Zustand bewahrt, den sie unter dem Druck und der Temperatur im Tank hatte.



Unter dem Elektronenmikroskop lassen sich die Auswirkungen des Experiments auf die Eisen-Nickel-Schwefel-Probe erkennen.



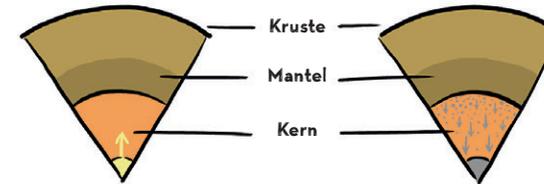
Nachdem Christian mit unterschiedlichen Rezepturen den Marskern «nachgekocht» hat, diskutiert er seine Ergebnisse mit seinem Kollegen Amir. Amir sammelt chemische und physikalische Daten, mit denen er ein Modell über den Aufbau des Mars entwickelt.

Auch dank deiner Berechnungen gehen wir davon aus, dass der Marskern noch grösstenteils flüssig ist. Erstaunlich ist, dass er im Vergleich mit dem Erdkern ganz anders kristallisieren könnte.

WIE DER MARSKERN FEST WIRD

A) Von innen nach aussen:
Der flüssige Marskern **kristallisiert**, so wie der Erdkern, von innen nach aussen.

B) Von aussen nach innen:
Kristalle bilden sich an der Kern-Mantel-Grenze und sinken ins Zentrum ab. Dort bauen sie nach und nach einen festen Kern auf (**Schneeflockenmodell**).



Fester innerer Kern aus Eisen-Nickel-Schwefel-Verbindungen

Fester innerer Kern aus Eisen-Nickel-Metall

Und welches Szenario ist wahrscheinlicher?

Gute Frage. Die Wahrheit liegt vermutlich irgendwo dazwischen.

2019 sollten wir mehr wissen! Die **InSight-Mission** bringt sicher Licht ins Dunkel.

BOTEN AUS DEM ALL

HENNER BUSEMANN ist Senior Scientist in der Isotopengeochemie. Er misst Edelgase in Meteoriten, in Kometenstaub und in Proben aus Weltraummissionen.



Am 15. Februar 2013 explodierte über Tscheljabinsk, Russland, ein Meteor. Von den Trümmern konnte unter anderem ein 540 Kilogramm schwerer Meteorit geborgen werden.

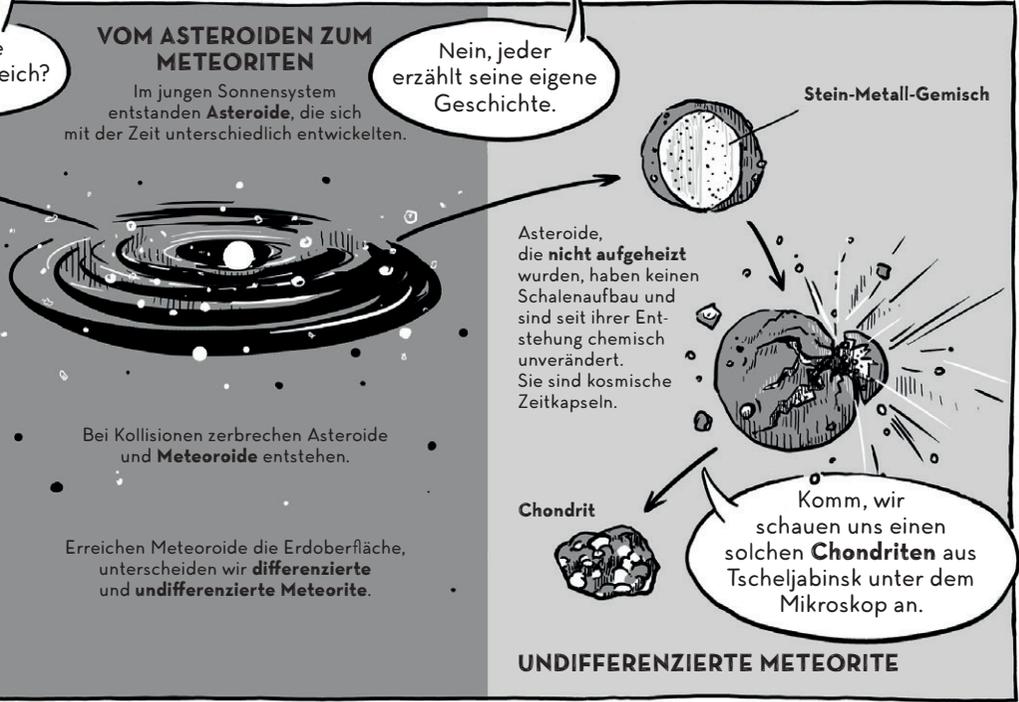
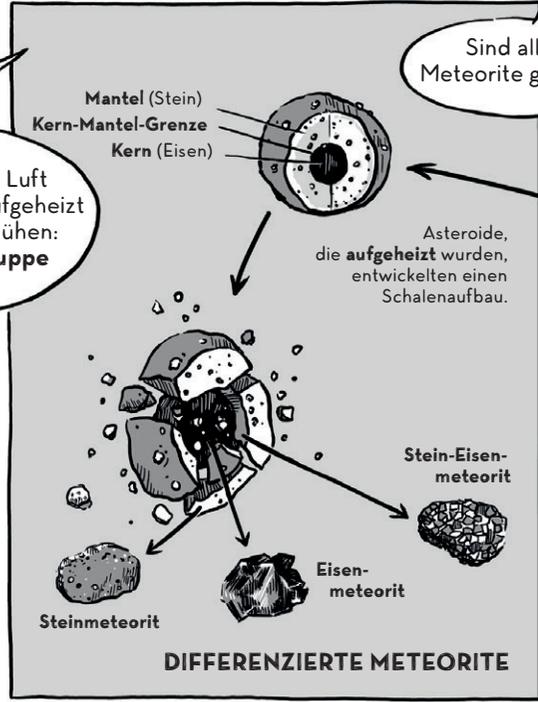
Wir bekommen viele Anfragen wegen des Einschlags in Russland. Was sind eigentlich Meteorite?

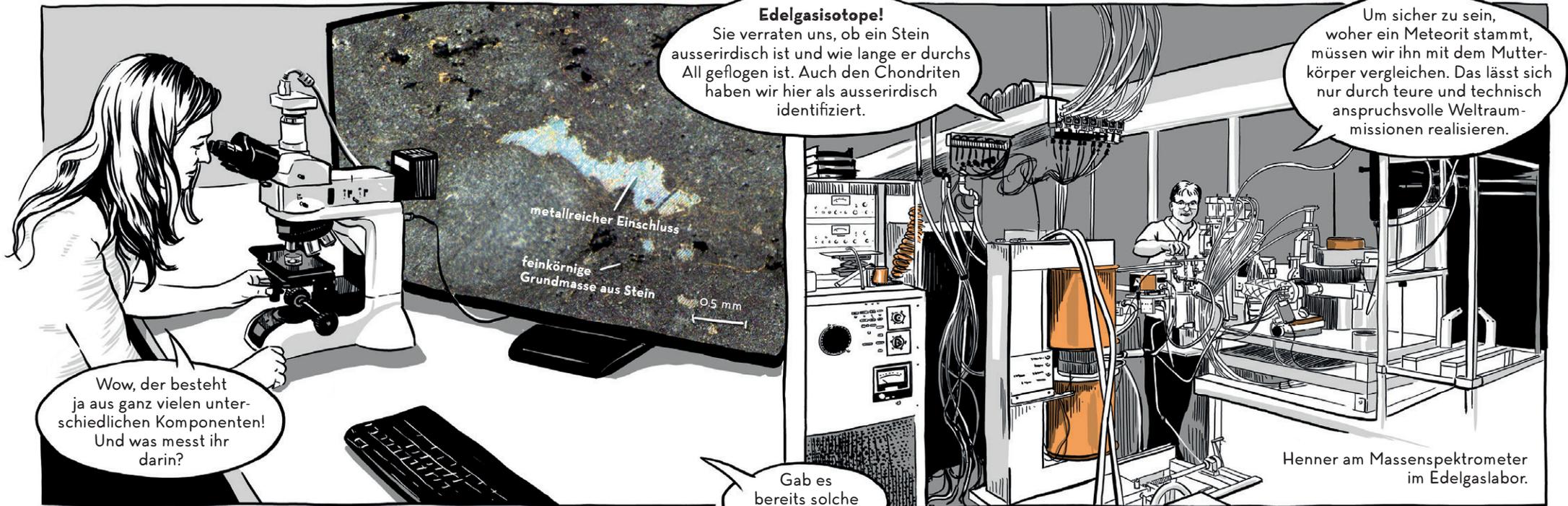
Henner wird von der Wissenschaftsjournalistin Ivana interviewt.



Meteorite entstehen meist aus **Asteroiden**. Diese kreisen vorwiegend zwischen Mars und Jupiter um die Sonne und bestehen aus Gestein. Zerbrecchen sie und verlassen ihre Trümmer den Asteroidengürtel, spricht man von **Meteoroiden**.

Asteroide sind nicht zu verwechseln mit **Kometen**. Diese stammen vom äusseren Rand des Sonnensystems und sind vor allem aus Eis und Staub aufgebaut.





Edelgasisotope!
 Sie verraten uns, ob ein Stein ausserirdisch ist und wie lange er durchs All geflogen ist. Auch den Chondriten haben wir hier als ausserirdisch identifiziert.

Um sicher zu sein, woher ein Meteorit stammt, müssen wir ihn mit dem Mutterkörper vergleichen. Das lässt sich nur durch teure und technisch anspruchsvolle Weltraummissionen realisieren.

Wow, der besteht ja aus ganz vielen unterschiedlichen Komponenten! Und was messt ihr darin?

Gab es bereits solche Missionen?

Henner am Massenspektrometer im Edelgaslabor.

Apollo 12, 1969
NASA

Mondgesteine der Apollo-Missionen bestätigten später die Herkunft von **Mondmeteoriten**.

Viking I, 1975 -1982
Viking II, 1975 -1980
NASA

Curiosity, seit 2012
NASA

Die Viking-Lander und der Curiosity-Rover zeigten, dass in **Marsmeteoriten** Teile der Marsatmosphäre eingeschlossen sind.

Rückführmissionen

Hayabusa I & II
Asteroiden Itokawa & Ryugu
2003 -2010 & 2014 -2020
JAXA

OSIRIS-REx
Asteroid Benu
2016 -2023
NASA

Ja, tatsächlich. Zum Mond, zum Mars und zu Asteroiden. Dank **Hayabusa I** konnten wir einige Körnchen des Asteroiden **Itokawa** analysieren. Nun warten wir auf Proben von **Hayabusa II** und **OSIRIS-REx**.

Start von **OSIRIS-REx** am 8. September 2016 am Cape Canaveral, Florida.

Und los geht's! Zum Glück muss ich nicht mitfliegen und kann das All von hier aus erforschen. Denn die für meine Arbeit so wichtigen kosmischen Strahlen täten meiner Gesundheit gar nicht gut.

DA DRAUSSEN

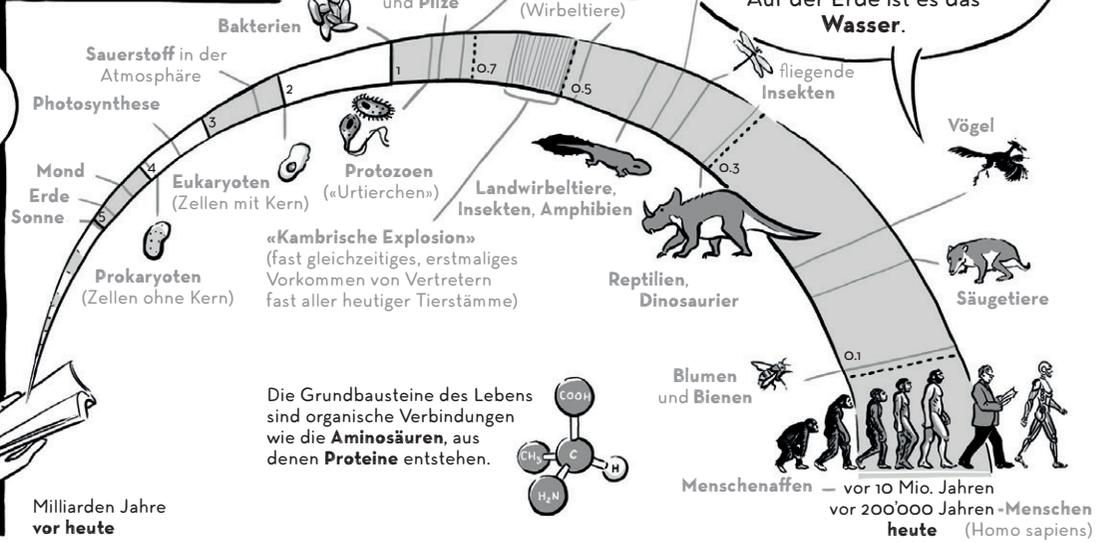
BEN MOORE erforscht als Professor für Astrophysik an der Universität Zürich die Entstehung von Sternen, Planeten und Galaxien. Seine Faszination gilt dem Ursprung des Lebens und möglichem Leben im All.



Allein in unserer Galaxie gibt es über zehn Milliarden Planeten. Könnten einige davon **Leben** beheimaten, wie unsere Erde?

Was ist Leben überhaupt? Alles Leben auf der Erde weist gemeinsame Merkmale auf: Es basiert auf **Zellen**, trägt Informationen in einem «genetischen Code» und tauscht im **Stoffwechsel** Energie mit der Umwelt aus.

Um Leben im All aufzuspüren, suchen wir nach Gasen, die durch Lebensaktivitäten entstehen.



Lebewesen wachsen und entwickeln sich. Für den Transport von Stoffen in ihren Körpern und innerhalb der Zellen braucht es eine Flüssigkeit. Auf der Erde ist es das **Wasser**.



Solche Lebenszeichen könnten auf anderen Planeten mit dem «Extremely Large Telescope» gemessen werden. Es wird mit einem Spiegel von 39 Metern Durchmesser das weltgrösste Teleskop sein.

Auch Weltraumteleskope und unbemannte Weltraummissionen wollen nach Leben im All suchen.

Extremely Large Telescope (ELT)
auf über 3'000 m ü. M. in der chilenischen Atacamawüste. Inbetriebnahme geplant für 2024

James-Webb-Weltraumteleskop
(NASA, ESA, CSA)
geplant für 2019

Bis zum
nächsten Abenteuer!



Die vorliegenden Seiten wurden aus einer Publikation entnommen, die parallel zur Sonderausstellung **«Expedition Sonnensystem – Mit der ETH auf Forschungsreise durchs All»** erschienen ist. Die Ausstellung wird vom 28. März 2018 bis 16. Juni 2019 in *focusTerra*, dem erdwissenschaftlichen Forschungs- und Informationszentrum der ETH Zürich, gezeigt.

Die inhaltliche Verantwortung liegt bei *focusTerra*. Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Herausgeberin unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

www.focusterra.ethz.ch
info_focusterra@erdw.ethz.ch
© 2018, *focusTerra* – ETH Zürich