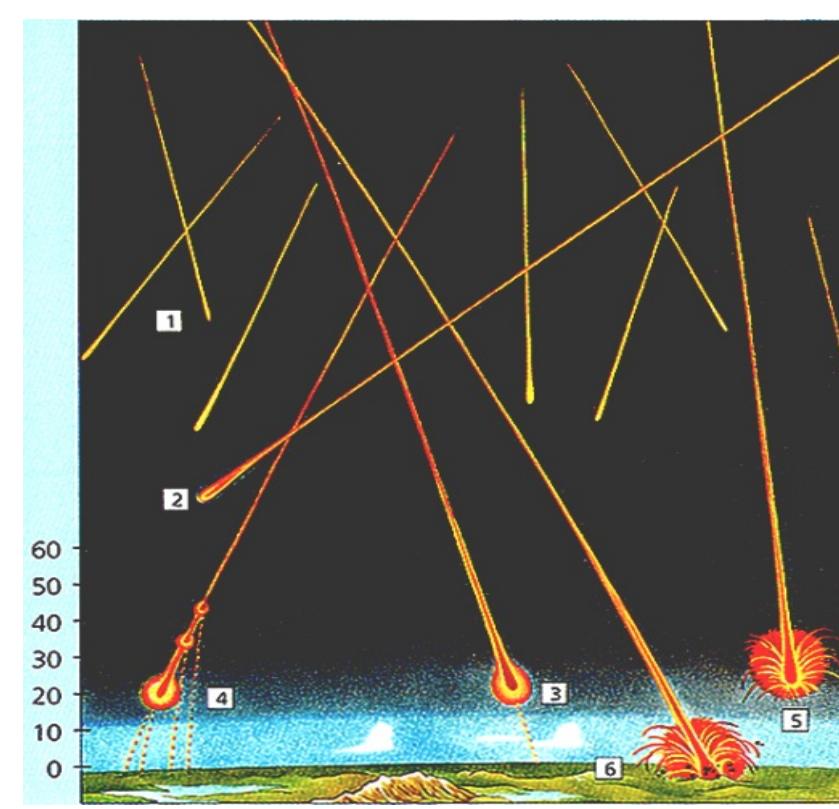


# METEORITE

Abgesehen von den gesammelten Mondproben und dem interplanetaren Staub (auch als Mikrometeorite bezeichnet), sind Meteorite das einzige extraterrestrische Material, welches einer direkten Untersuchung auf der Erde zugänglich ist. Sie stellen so eine einzigartige Möglichkeit dar, Näheres über die Zusammensetzung und Entstehung unseres Sonnensystems in Erfahrung zu bringen.

## 1. Der Fall und Fund von Meteoriten

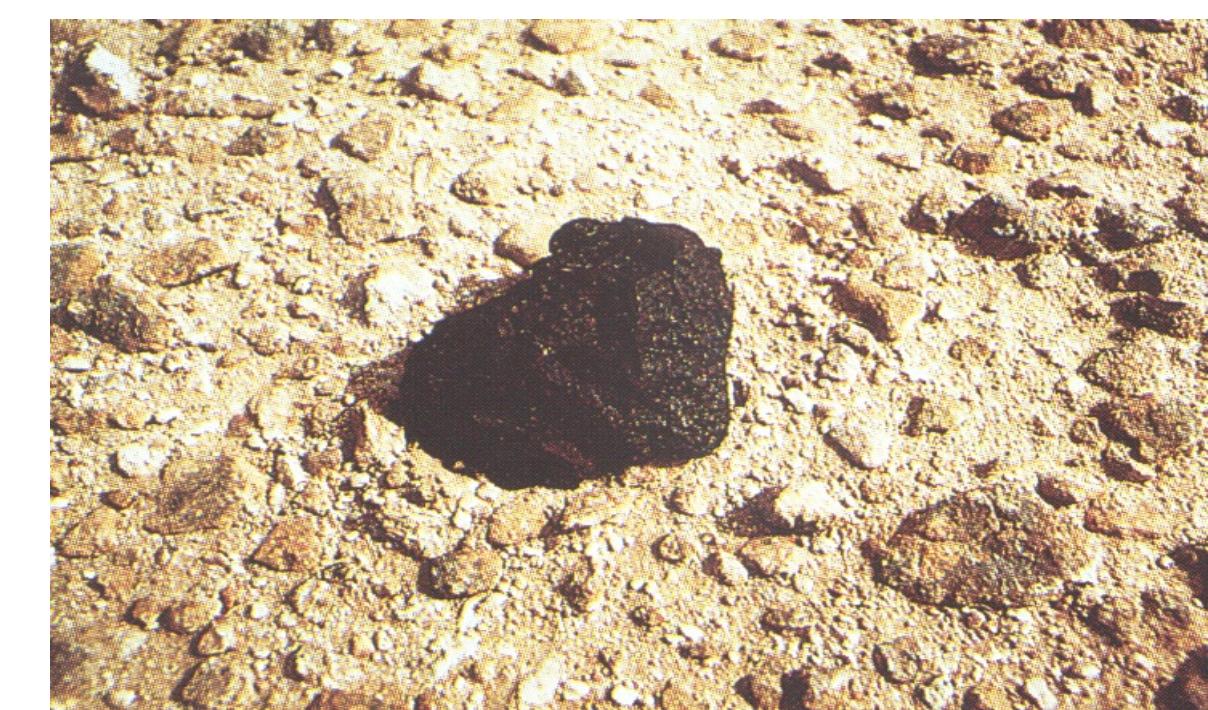
Meteorite können überall auf der Erde niedergehen. Wenn ihr Niedergang beobachtet wird, spricht man von Fällen, sonst von Funden. Ob ein Meteorit die Erde überhaupt erreicht, hängt von seiner Masse, seiner Anfangsgeschwindigkeit und seinem Einfallsinkel ab. In nebenstehender Abbildung sind verschiedene mögliche Szenarien dargestellt. Kleine bis fußballgroße Körper verglichen als Sternschnuppen in der oberen Atmosphäre (1, 2). Größere Objekte erzeugen durch Abbrennen einen spektakulären Feuerball (3, 4), wobei fast immer ein relativ kleiner Rest den Durchgang durch die Atmosphäre überlebt und abgebremst im freien Fall als Meteorit auf die Erde schlägt. Sehr poröse oder gasreiche Meteorite mit Durchmessern ab einigen Metern können vor Erreichen des Bodens explosionsartig zerbersten (5). Sehr schwere Meteorite schließlich bilden Einschlagkrater (6).



Der Barringer-Krater in Arizona, mit einem Durchmesser von 1,1 km und mehreren hundert Meter Tiefe, ist ein gut erhaltenes, relativ junger Krater. Erzeugt wurde dieser Krater vor ca. 50.000 Jahren durch den Einschlag eines etwa 100.000 t schweren Körpers mit einem Durchmesser von 30 m.

Welche Spuren ein Meteorit am Boden hinterläßt, hängt außerdem von seiner Endgeschwindigkeit ab. Leichte Stücke können durch die atmosphärische Reibung soweit abgebremst werden, daß sie nur durch die Erdanziehung zu Boden fallen (freier Fall). Die so entstehenden „Krater“ sind etwa so groß wie der Meteorit selbst. Dagegen behalten sehr schwere Meteorite (ab etwa 10.000 kg) ihre „kosmische Geschwindigkeit“ von ca. 10 bis 30 km/sec praktisch unverändert bei. Trifft ein solcher Meteorit auf die Erde, so wird sehr viel Energie freigesetzt und es entstehen Krater von beträchtlichem Ausmaß. Bisher sind auf der Erde etwa 130 Einschlagskrater mit Durchmessern bis zu einigen hundert km und Altern bis zu etwa 2 Milliarden Jahren nachgewiesen worden. Beispiele sind das Nördlinger Ries und der abgebildete Barringer-Krater.

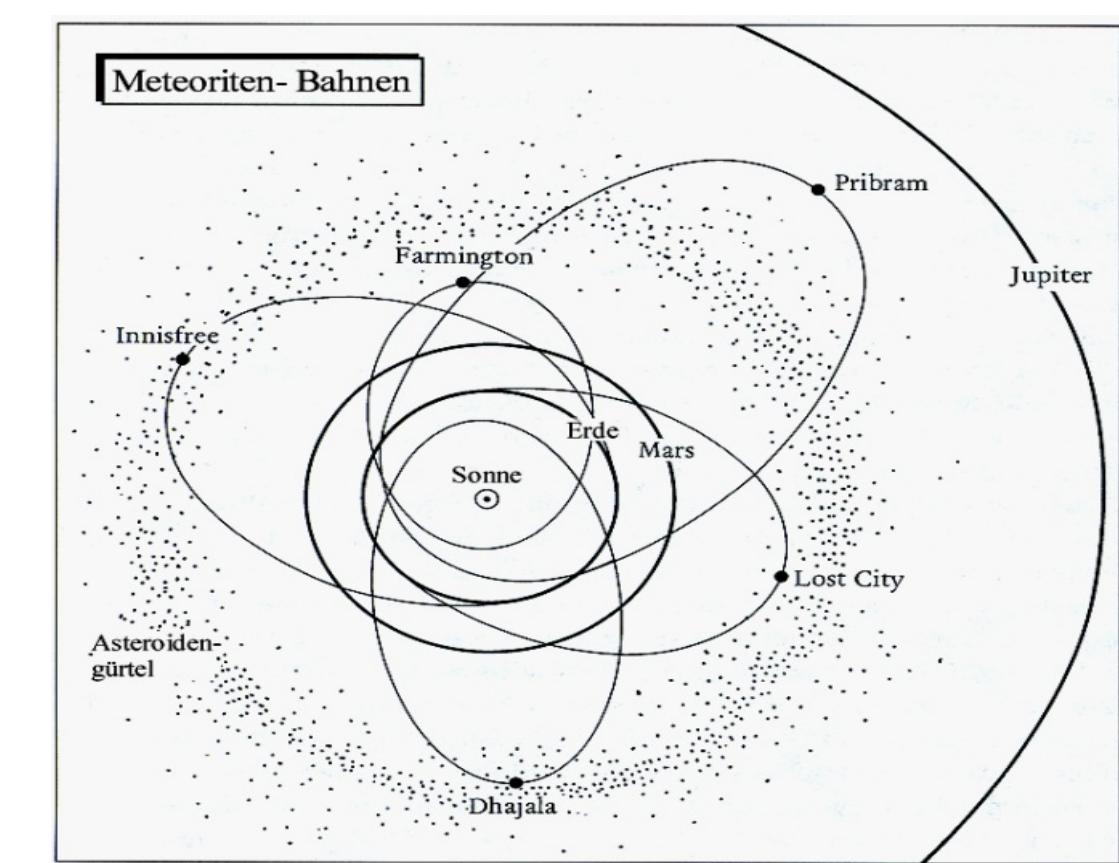
In Zonen mit Vegetation sind Meteorite nur durch Zufall zu finden. Daher werden seit 30 Jahren Suchexpeditionen in Gegenden ohne Vegetation - vor allem in die Antarktis - durchgeführt. Im Vergleich zu den ca. 2600 vor 1970 gesammelten Meteoriten kamen so in den letzten 30 Jahren etwa 10.000 antarktische und Wüsten-Meteorite hinzu.



Ein Beispiel für einen antarktischen Meteoriten (links). Jeder Fund wird von mehreren Seiten mit seiner Fundnummer und mit Maßstab dokumentiert. Rechts ein Meteoriten-Fund in der arabischen Wüste. Der dunkle Meteorit hebt sich deutlich von seiner Umgebung ab.

## 2. Woher kommen Meteorite?

Der Fall von vier Meteoriten konnte durch Fotoüberwachung aufgezeichnet und ihre Bahn berechnet werden. Alle hatten ihren sonnenfernen Punkt (Aphel) im Asteroiden-Gürtel, wie in der Abbildung schematisch dargestellt ist. Meteorite sind also Überreste von miteinander kollidierten Asteroiden (bis auf einige bemerkenswerte, später diskutierte Ausnahmen). Durch die Anziehungskraft des Jupiter können Bruchstücke solcher Kollisionen aus ihren Bahnen im Asteroiden-Gürtel geworfen werden. Auf diese Weise geraten sie auf eine Umlaufbahn, die die Erdbahn kreuzt und damit auf einen möglichen Kollisionskurs mit der Erde. Im Allgemeinen werden diese Bruchstücke durch weitere Kollisionen noch weiter zerkleinert.



## 3. Die Asteroiden

Der Asteroiden-Gürtel dehnt sich in einer Sonnenentfernung von etwa 2,5 bis 4,5 AE aus (1 Astronomische Einheit = Abstand Erde ¾ Sonne ≈ 150 Millionen km). Er besteht aus vielen Tausenden von Körpern mit Durchmessern bis zu einigen hundert km (der größte Asteroid, 1 Ceres, hat einen Durchmesser von ca. 900 km). Aus Spektralanalysen des an der Oberfläche reflektierten Sonnenlichtes und dem Vergleich mit Spektren von wichtigen Mineralien und von Meteoriten kann man Informationen über die Zusammensetzung der Asteroiden erhalten und in manchen Fällen sogar die Mutterkörper einiger Meteoriten-Gruppen identifizieren. Es zeigt sich, daß sich die Zusammensetzung der Asteroiden mit dem Abstand von der Sonne ändert, vor allem der Anteil leicht flüchtiger Elemente (Wasserstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff u.a.) nimmt mit der Entfernung zu. Dies kann für die Rekonstruktion der Temperatur-Bedingungen zur Zeit der Entstehung der Asteroiden im frühen Sonnensystem ausgenutzt werden.



Die Abbildungen zeigen die Asteroide 951 Gaspra (links, mittlerer Durchmesser etwa 12 km) und 243 Ida (rechts, mittlerer Durchmesser etwa 31 km), aufgenommen von der Raumsonde Galileo bei ihrem Vorbeiflug 1991 bzw. 1993.

## 4. Der innere Aufbau von Asteroiden

Alle Asteroiden-Oberflächen sind übersät mit Einschlagkratern. Der bei einer Kollision entstehende Staub und Schutt setzt sich auf der Oberfläche wieder ab und bildet eine sich wieder verfestigende Schicht (Regolith), die mehrere Meter dick sein kann.

Der innere Aufbau eines Asteroiden hängt im wesentlichen von seiner Größe, seiner Zusammensetzung und der bei seiner Entstehung zur Verfügung stehenden Energie ab. Diese Energie stammt wahrscheinlich vom Zerfall kurzlebiger radioaktiver Atomkerne (vor allem  $^{26}\text{Al}$  mit einer Halbwertzeit von 720.000 Jahren).

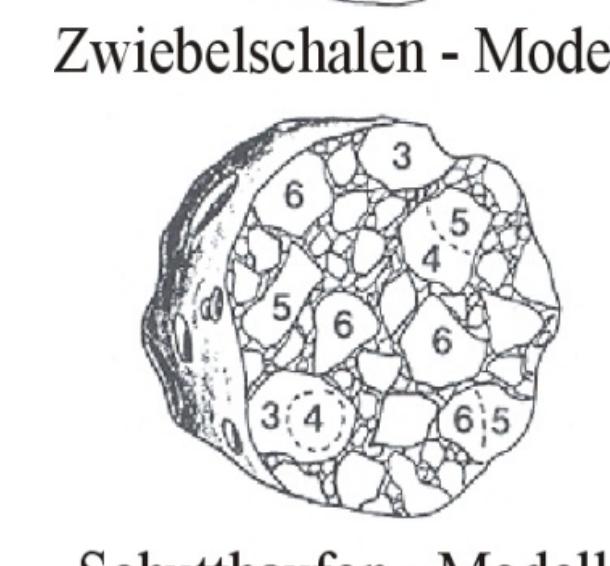
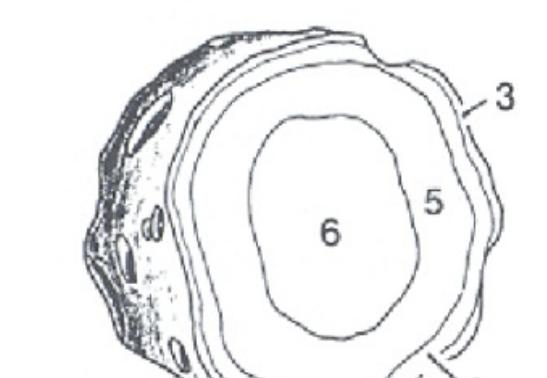
### a) Undifferenzierte Asteroide:

Kleine Asteroiden (kleiner als etwa 50 km im Durchmesser), behalten ihren ursprünglichen Aufbau weitgehend bei. In ihrem Inneren erreichen sie dennoch Temperaturen von etwa 1000°C.

Da Gesteine mit zunehmender Temperatur eine Änderung in ihrer Struktur erfahren, sollte der innere Aufbau einem Zwiebelschalen-Modell entsprechen (wie in nebenstehender Abbildung gezeigt). Die Temperatur steigt von außen (Gesteins-Typ 3) nach innen (Gesteins-Typ 6) an.

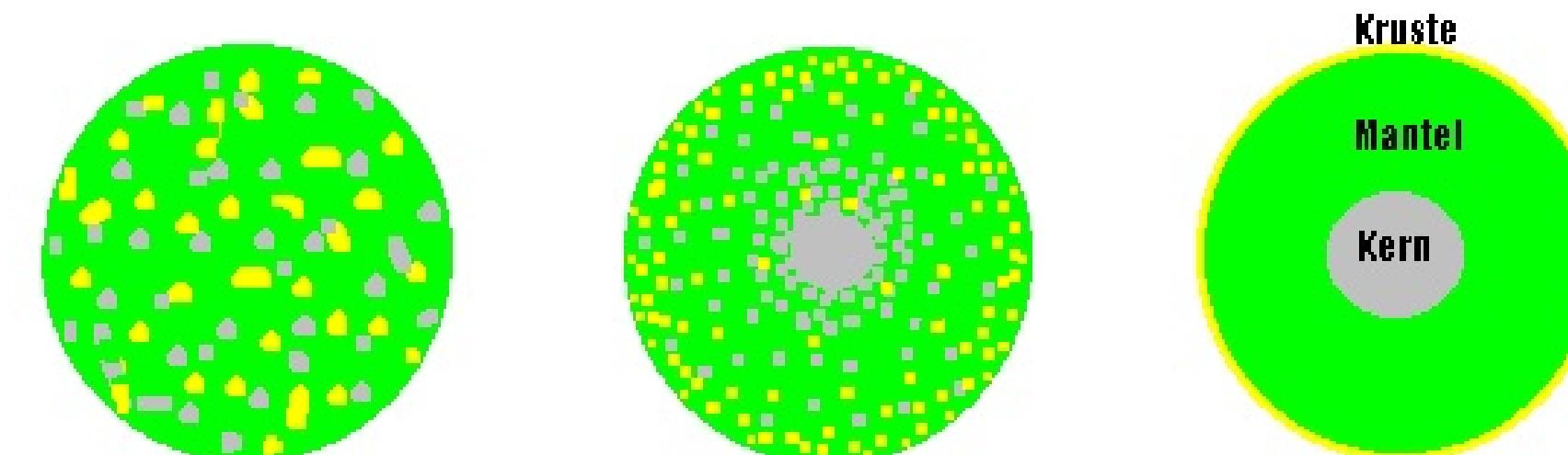
Es ist aber auch möglich, daß ein Asteroid mit einem Schalenbau durch eine Kollision zerrißt wird und sich anschließend aus Teilen der Trümmer neu bildet. Der dann entstehende Körper würde einen Aufbau wie im abgebildeten Schutthaufen-Modell aufweisen.

### Modelle vom Aufbau der Asteroiden:



### b) Differenzierte Asteroide:

Wenn einem Asteroiden genügend innere Wärme zur Verfügung stand, um teilweise aufzuschmelzen, konnten sich seine Hauptbestandteile entmischen. So konnte sich (ähnlich zu unserer Erde) ein Eisen-Nickel-Kern, ein silikatischer Mantel und eine Kruste bilden.



Schematischer Verlauf der Differenzierung eines zu Beginn (links) gleichmäßig zusammengesetzten Körpers. Grau steht für Metall, gelb für sich bei niedrigen Temperaturen bildende, leichte Silikate und grün für Eisen-Magnesium-Silikate. Durch teilweise Aufschmelzen können die schwereren Metalle absinken, während die leichten Silikate zur Oberfläche streben (Mitte). Rechts schließlich ist die vollständige Entmischung abgeschlossen.

Diese Trennung führt auch zu einer Anreicherung bestimmter Elementen in den verschiedenen Schichten (z.B. Eisen im Kern), so daß sich Bruchstücke solcher differenzierter Asteroide in ihrer chemischen Zusammensetzung und in ihrer Struktur im Vergleich zu undifferenzierten Asteroiden deutlich unterscheiden.

## 5. Mond- und Mars-Meteorite

In den letzten zwanzig Jahren setzte sich die Erkenntnis durch, daß auch Fragmente von größeren Körpern die Erde als Meteorite erreichen können. Zur Identifikation von Mond-Meteoriten waren die infolge der Mondmissionen gesammelten Gesteinsproben als Vergleichsmaterial sehr hilfreich.



Dieses Bild zeigt einen der in der Antarktis gefundenen Meteorite, die vom Mond stammen.

Der Meteorit ALH 84001 gehört zu der Gruppe der SNC-Meteorite. Vieles deutet auf eine Herkunft vom Mars hin. Dieser Meteorit ist außerdem in jüngster Zeit bekannt geworden, als Forscher Spuren fossiler Lebens gefunden haben wollten. Diese Interpretation ist aber sehr umstritten.

Im Falle der Gruppe der sogenannten SNC-Meteorite sprechen alle Indizien für den Mars als Mutterkörper. Vor allem die zum Teil relativ jungen Abkühlalter vulkanischer Meteorite (300 bis 1000 Millionen Jahre) sprechen für einen Mutterkörper, der zu dieser Zeit vulkanisch aktiv war und es vielleicht heute noch ist. Dieser Körper muß deshalb größer als der Mond sein, der seit ca. 3,1 Milliarden Jahren inaktiv ist. Außerdem entspricht die Zusammensetzung eingeschlossener Gase der durch Raumsonden bestimmten Zusammensetzung der Mars-Atmosphäre.

