

Das Alter des Sonnensystems

Das Alter der Sonne kann nicht direkt bestimmt werden. Daher müssen stellvertretend die Alter von Meteoriten benutzt werden. Das ist unter der Voraussetzung richtig, daß sich die Sonne gemeinsam mit den Planeten und Planetesimalen („kleine Planeten“) in einer relativ kurzen Zeitspanne gebildet hat. Ein Indiz dafür ist die Beobachtung, daß alle Planetenbahnen zusammen mit dem Sonnenäquator in einer Ebene liegen und den gleichen Umlaufsinn besitzen. Ein zusätzliches Indiz ist die weitgehende Übereinstimmung der Zusammensetzung von kohlgewichtigen Chondriten und der Sonne.

Wie werden Alter bestimmt?

Das Sanduhr-Prinzip:

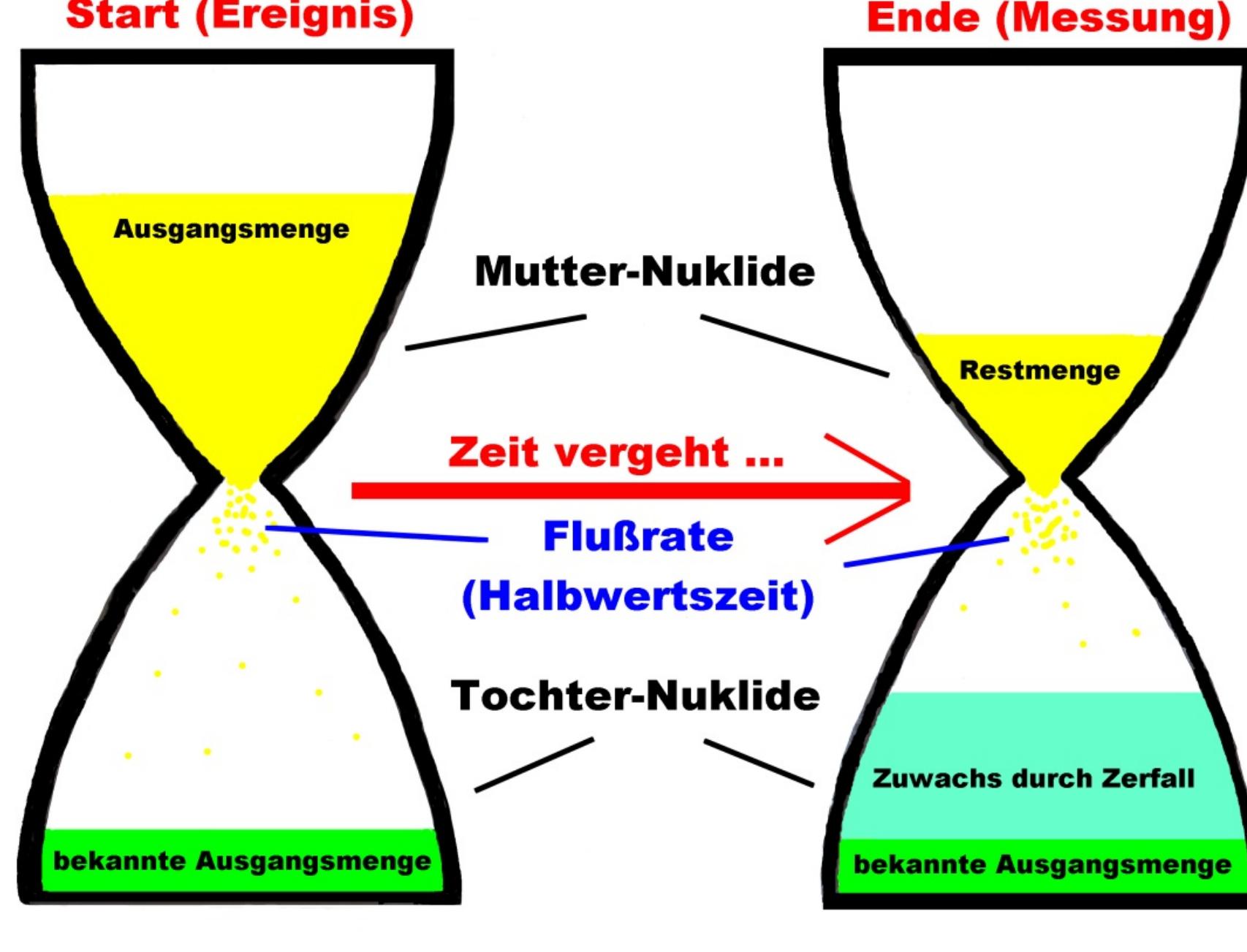
Um zeitliche Abläufe messen zu können, benötigt man eine Uhr. In der Natur steht uns ein als Uhr verwendbarer Prozess in Form der radioaktiven Umwandlung von nichtstabilen zu stabilen Atomkernen (Nukliden) zur Verfügung. Der „Takt“ dieser Uhr wird durch die Halbwertszeit bestimmt. Sie gibt an, wie lange es dauert bis die Hälfte der vorhandenen nichtstabilen Nuklide zerfallen ist. Die Halbwertszeiten von Nukliden, die sich für die Datierung eignen, variieren von einigen Jahren bis zu Milliarden von Jahren (siehe Beispiele in Tabelle).

• Wie der radioaktive Zerfall bei der Altersbestimmung angewendet wird, soll anhand dem Beispiel einer Sanduhr veranschaulicht werden. Für jedes Korn, das im oberen Gefäß verschwindet, kommt im unteren eines hinzu; genauso entsteht für jedes Mutter-Nuklid, das zerfällt, ein Tochter-Nuklid. Da die Halbwertszeit oder die Geschwindigkeit, mit der die Sanduhr läuft, bekannt ist, läßt sich aus dem Verhältnis der Sandkörner im oberen und unteren Gefäß bzw. der beteiligten Nuklide die Zeit bestimmen, die seit dem Start der Sanduhr vergangen ist. Das funktioniert allerdings nur, wenn:

- das untere Gefäß zu Beginn leer ist (oder man weiß, wieviel sich darin befindet)
- die Gefäße keine Löcher haben, damit weder Körner verloren gehen noch Sand von außerhalb in das Gefäß rieselt.

Diese Bedingungen sind in der Natur praktisch nie vollständig verwirklicht. Da die Wissenschaft aber oft in der Lage ist, Störungen mit Hilfe verfeinerter Methoden zu erkennen, können dennoch zuverlässiges Alter bestimmt werden.

Die Wahl der richtigen Methode, die Kenntnis ihrer Vor- und Nachteile sowie der Grenzen ihrer Anwendung sind unabdingbare Voraussetzung für die Altersbestimmung. Die Methodik vieler Datierungssysteme (z.B. Kalium-40 / Argon-40; Argon-40 / Argon-39; Iod-129 / Xenon-129; Spaltspuren-Methode) wurden am Max-Planck-Institut für Kernphysik grundlegend mitentwickelt und bei der Altersbestimmung von Meteoriten, Mondproben und irdischen Gesteinen angewendet.



| Mutter-Isotop | Tochter-Isotop | Halbwertszeit | Anwendungen in der Datierung |
|----------------|----------------|-----------------------|---|
| Kohlenstoff-14 | Stickstoff-14 | 5730 Jahre | Archäologie, Umweltphysik |
| Aluminium-26 | Magnesium-26 | 716 000 Jahre | Meteoriten |
| Iod-129 | Xenon-129 | 15,7 Millionen Jahre | Meteoriten |
| Uran-235 | Blei-207 | 704 Millionen Jahre | Gesteine älter als ca. 1 Million Jahre |
| Kalium-40 | Argon-40 | 1,25 Milliarden Jahre | Gesteine, Meteoriten |
| Uran-238 | Blei-206 | 4,47 Milliarden Jahre | Gesteine älter als ca. 1 Million Jahre |
| Rubidium-87 | Strontium-87 | 48,8 Milliarden Jahre | Gesteine älter als ca. 10 Millionen Jahre |
| Samarium-147 | Neodym-143 | 106 Milliarden Jahre | Gesteine älter als ca. 50 Millionen Jahre |

Was wird eigentlich datiert?

Bildungsalter: Das im Idealfall erhaltene scheinbare Alter entspricht der Zeit, die seit dem Schließen des Systems (z.B. eines Gesteines) vergangen ist. Da dieses „Abschließen“ temperaturabhängig ist, kann man strenggenommen nicht von einem Bildungsalter sprechen. Zwischen der Bildung eines Gesteins (z.B. aus einer erstarrenden Schmelze) und dem Erreichen derjenigen Temperatur, bei der kein Austausch mit der Umgebung mehr stattfindet, vergeht erst eine gewisse Zeit. Das Bildungsalter ist nur dann gleich mit dem berechneten Alter, wenn diese Zeit sehr kurz ist im Vergleich zum Alter der Probe. Andererseits liefern unterschiedliche Alter bei verschiedenen Methoden oder Mineralien Hinweise zur Abkühlungsgeschichte eines Gesteines.

Expositionsalter: Meteoriten sind nach ihrem gewaltigen Loslösen von ihrem Mutterkörper geraume Zeit als ca. metergroße Körper im Weltraum unterwegs, bevor sie auf die Erde treffen. Dieser Zeitraum wird als Expositionsalter (von „etwas ausgesetzt sein“) bezeichnet, da sie in dieser Zeit ungeschützt der kosmischen Strahlung ausgesetzt sind. Diese energiereiche Strahlung führt zur Erzeugung sowohl von stabilen als auch radioaktiven Nukliden. Nach dem Niedergang auf der Erde sind die Meteorite durch die irdische Atmosphäre vor der kosmischen Strahlung weitgehend geschützt und die Produktion von neuen Nukliden stoppt. Aus den im Weltraum gebildeten Nukliden ist es daher möglich, die Dauer des (ungeschützten) Aufenthaltes im All zu bestimmen. Es zeigt sich, daß die weitaus meisten Stein-Meteorite nur eine Verweilzeit im Weltraum von 20 000 Jahren bis 100 Millionen Jahren mit einem Mittelwert von etwa 10 Millionen Jahren aufweisen, bevor sie auf die Erde treffen. Eisen-Meteorite haben längere Aufenthaltszeiten von 4 bis 2300 Millionen Jahren mit einem Mittelwert von etwa 500 Millionen Jahren. Das ist sehr wahrscheinlich auf ihre größere mechanische Stabilität zurückzuführen.

Terrestrische Alter: Wenn der Fall eines Meteoriten nicht beobachtet wurde, so ist von Interesse, wie lange der Stein schon auf der Erdoberfläche liegt. Diese Zeit wird als terrestrisches Alter bezeichnet. Auch hierzu werden durch die kosmische Strahlung erzeugte, radioaktive Nuklide als Uhr benutzt. Diese Nuklide befinden sich vor dem Fall des Meteoriten in einem Sättigungszustand: Die Produktionsrate ist gleich der Zerfallsrate. Da auf der Erdoberfläche die Produktion stoppt, kann aus der Kenntnis des Sättigungszustandes und der noch beim Fund vorhandenen Konzentration an radioaktiven Nukliden auf die Aufenthaltszeit geschlossen werden.

Chronologie des frühen Sonnensystems

Unser Sonnensystem bildete sich aus einem Nebel aus Gas und Staub, dem solaren Nebel. Die Temperaturen im Nebel waren zu Beginn höher als 1800°C. Bei diesen Temperaturen sind nur sehr wenige Substanzen noch in festem Zustand, z.B. Diamant, Graphit, Korund oder Siliziumkarbid. Solche Körner findet man auch tatsächlich in der Grundmasse (Matrix) von Chondriten. Es handelt sich um präsolare Körner, die sich vor der Entstehung des Sonnensystems in den Endstadien von Vorgängersternen (Rote Riesen; Supernovae) gebildet haben.

Als der Nebel abkühlte, kondensierten zuerst bei etwa 1600-1800°C sehr schwer schmelzbare Substanzen aus, die heute als helle Kalzium-Aluminium-reiche Einschlüsse in kohlgewichtigen Chondriten zu finden sind (z.B. in Allende in der Vitrine). Ihr Alter beträgt 4566 ± 2 Millionen Jahre und kommt dem Alter des Sonnensystems am nächsten. In diesen Einschlüssen wurden auch Hinweise auf die Existenz des radioaktiven Isotopes Aluminium-26 entdeckt. Da die Halbwertszeit dieses Isotopes nur 720 000 Jahre beträgt, kann die Entstehung dieses Isotopes in einer Supernova (kurz vor der Bildung des Sonnensystems) nicht mehr als etwa 5 Millionen Jahre weiter als die Bildung der Einschlüsse zurückliegen.

Der Nebel kühlte weiter ab und es kondensierten Silikate und Metalle aus. Diese bildeten die Grundmasse der Chondrite. In dieser Phase fanden außerdem kurze Aufheizungsereignisse statt, die zur Bildung der Chondren führten. Analog zur Bildungsgeschichte der Grundmasse und der Chondren, sind diese jünger als die hellen Einschlüsse. Sie zeigen Alter um 4580 Millionen.

Mit der Iod-Xenon-Methode können sehr genau Altersunterschiede zwischen den Meteoriten ermittelt werden. Die Bildung der Mutterkörper der Chondrite lief in einem Zeitraum von etwa 30 Millionen Jahren ab. Das bemerkenswerte ist aber, daß sich die Alter der Achondrite nicht davon unterscheiden, obwohl Achondrite von schon differenzierten Mutterkörpern stammen. Die Bildung von differenzierten Planetesimalen muß (in kosmischen Dimensionen gesehen) daher sehr rasch geschehen sein und man kann daraus schließen, daß auch die Bildung größerer Planeten und damit auch der Erde selbst nicht viel länger gebraucht haben kann. Im nebenstehendem Schema ist noch einmal die Bildung der Chondrite vereinfacht dargestellt.

Bildung der Chondrite

