

## CH1

### Stundenzusammenfassung: Entstehung der Elemente

Bei chemischen Reaktionen können keine Atome erzeugt oder vernichtet werden (Dalton).

Woher stammen die chemischen Elemente?

Mit wenigen Ausnahmen sind alle Atome aus denen die Erde besteht schon seit Entstehung der Erde vorhanden.

Wie alt ist die Erde und woher wissen wir das?

Die Erde hat ein Alter von ca. 4,5 Mrd. Jahren. Dieses Alter kann man mit Hilfe der Uran-Blei-Methode zur Altersbestimmung uranhaltiger Gesteine ermitteln. Die ältesten gefundenen Gesteine haben ein Alter von 3,5- 4,2 Mrd. Jahren. Bevor es Gestein auf der Erde gab, war sie eine glutflüssige Kugel.

Als die Erde entstand wurde sie von sehr vielen Meteoriten (Gesteinsbrocken) getroffen, die dazu führten, dass die Erde glutflüssig war. Als das Bombardement nachließ, kühlte die Erde ab und erstarrte an der Oberfläche. Dadurch entstanden die Gesteine. Das Erdinnere ist immer noch glutflüssig ( Vulkanausbrüche ).

Woraus ist die Erde entstanden?

Da auf der Erde keine Elemente entstanden sind, müssen sie woanders herkommen. Die Sonne ist ein durchschnittlicher Stern (Masse, Helligkeit, Radius ...) die sich im Randbereich unserer Galaxie ( Milchstraße mit ca. 100 Mrd. Sternen ) befindet, deren Oberflächentemperatur 6000K und deren Kerntemperatur ca. 15 Mio. K betragen. Sie ist aus einer Gaswolke entstanden, die sich aufgrund ihrer Gravitation zusammengezogen hat. Dabei stieg die Temperatur auf über 10 Mio. K an und die Kernfusion setzte ein. Durch diese permanente Kernfusion entstehen aus Wasserstoffkernen Heliumkerne und außerdem eine riesige Energiemenge. Die Sonne ist etwa 5 Mrd. Jahre alt und hat noch einen Wasserstoffvorrat für weitere 5 Mrd. Jahre. Die Sonne ist stabil, weil der Druck der Kernfusion aus dem Inneren durch die Gravitationskraft genau ausgeglichen wird. Wenn der Wasserstoff im Kern verbraucht ist, drückt die Gravitationskraft die Sonne zusammen, dabei erwärmt sich der Kern (der dann hauptsächlich Helium enthält) auf über 100 Mio. K. Dadurch startet dann erneut eine Kernfusion, wobei Heliumkerne zu Kohlenstoffkernen fusionieren. Dabei wird die Sonne zu einem roten Riesen und dehnt sich auf ein Vielfaches ihrer heutigen Größe bis über die Erdbahn aus. Außerdem entstehen bei diesem Prozess alle Elemente bis zum Eisen. Danach ist die Kernfusion beendet und die Sonne schrumpft aufgrund ihrer eigenen Gravitation zu einem weißen Zwerg mit wenigen Kilometern Durchmesser.

**Merksatz:** Die Elemente von Helium bis Eisen entstehen durch Kernfusion im Inneren von Sternen.

Für die Entstehung der schwereren Elemente wird noch mehr Energie benötigt. So hohe Energien sind nur in sehr massereichen Sternen möglich. Wenn ein sehr massereicher Stern am Ende durch seine Gravitation zusammenstürzt, entstehen

Temperaturen von bis zu 5 Mrd. K. Dabei stößt er dann seine äußeren Bereiche ab und explodiert in einer Supernova, die heller als 100 Mrd. Sterne ist. Die dabei auftretenden hohen Temperaturen reichen aus, um auch die schwereren Elemente zu erzeugen.

Merksatz: Die schweren Elemente entstehen bei Supernova-Explosionen.

Da alle Elemente auf der Erde vorkommen, muss die Erde aus den Resten mindestens einer Supernova-Explosion entstanden sein.

Woher stammt der Brennstoff der Sterne: der Wasserstoff?

Der gesamte Wasserstoff im Universum muss eine andere Entstehung besitzen, denn die Sterne brauchen den Wasserstoff für die Kernfusion.

Ein Stern entsteht, wie die Sonne aus einer Gaswolke, die sich aufgrund ihrer Gravitation zusammenzieht, bis die Temperatur im inneren 10 Mio. K übersteigt und die Kernfusion einsetzt. Der Wasserstoff muss schon vor den ersten Sternen vorhanden gewesen sein. Die ältesten Sterne sind etwa 12 Mrd. Jahre alt. Das Universum ist ca. 12-15 Mrd. Jahre alt.

Woher kennen wir das Alter des Universums?

In den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts entdeckte der Astronom Hubble, dass sich alle Galaxien von der Erde entfernen (heute sind etwa 100 Mrd. bekannt), d. h., dass die gesamte Materie des Universums einmal in einem Punkt versammelt war (auch die gesamte Materie der Erde). Durch eine Rückwärtsrechnung kam er auf das Alter von 12-15 Mrd. Jahren. Den Moment, bei dem die Expansion einsetzte nennt man Urknall (eine unvorstellbar große Explosion). Damals herrschten sehr hohe Temperaturen, sodass die Elementarteilchen Elektronen und Protonen keine Atome bilden konnten. Erst als sich das Universum bei der Expansion abkühlte konnten sich Elektronen und Protonen zu Wasserstoffatomen zusammenlagern und riesige Gaswolken bilden.

Merksatz: Der Wasserstoff entstand während des Urknalls.

Alle drei Merksätze beantworten die Frage, woher die Elemente stammen.

Übungen:

1. Woher wissen wir, dass die Erde einmal glutflüssig war?
2. Welche Elemente sind nicht von Anfang an auf der Erde vorhanden gewesen?
3. Warum können bei chemischen Reaktionen keine Elemente entstehen?
4. Stellen Sie die Gleichung für die Kernfusion von Tritium und Wasserstoff zu Helium auf! Hinweis: Benutzen Sie das Internet.
5. Berechnen Sie die Energie, die frei wird wenn 1kg Helium erzeugt wird!  
Hinweis: Berechnen Sie zuerst mit Hilfe Einsteins berühmter Formel, wie viel Energie pro Heliumkern freigesetzt wird. Gehen Sie in die Bibliothek! (Metzler Physik)
6. Woher wissen wir, dass es auf den Sternen Helium gibt?
7. Versuchen Sie zu erklären, wie Hubble darauf kam, dass sich die Galaxien von uns entfernen!