

Wir alle sind aus Sternenstaub ...

... singt Adel Tawil in einem gängigen Schlager. Schlagermusik kann man mögen oder auch nicht, aber hier hat der Sänger Recht.

Wenn wir dieser Aussage auf den Grund gehen wollen, müssen wir weit in der Zeit zurückreisen – bis an den Anfang des Seins. Die chemischen Elemente, aus denen alles was uns umgibt und auch wir selbst bestehen, waren ja nicht vom Beginn der Zeit an da. Nach der heute von der Wissenschaft favorisierten Urknalltheorie bildeten sich anfangs aus Elementarteilchen die leichtesten Elemente: ca. 75 % Wasserstoff, ca. 25 % Helium, 0,001 % Deuterium (schwerer Wasserstoff) und Spuren von Helium-3, Lithium und Beryllium. Diese als primordiale Nukleosynthese bezeichnete erste Phase der Materiebildung endete bereits nach wenigen Minuten. Das rasche Absinken der Temperatur und Materiedichte verhinderte die Bildung schwererer Atome.

Die zweite, als stellare Nukleosynthese bezeichnete Phase, begann erst hunderte Millionen Jahre später, nachdem unter dem Einfluss der Gravitation die Bildung der ersten Sterne aus dem sogenannten Urgas in Gang gekommen war. Lokale geringfügige Dichteunterschiede führten zu ersten Verklumpungen von Materie und schrittweise zu immer weiter anwachsenden Objekten. Im Inneren der Sterne stiegen durch die Gravitation der Druck und die Temperatur enorm an. Schließlich wurden Zustände erreicht, die die Fusion von Kernen der vorhandenen leichten Elemente in schwerere ermöglichte. Bei diesen Vorgängen wird eine enorme Menge an Energie frei, die die Sterne zum Leuchten bringt und durch den nach außen gerichteten Strahlungsdruck ein Gleichgewicht mit dem nach innen gerichteten Gravitationsdruck erzeugt. Diese Art des Fusionsprozesses erfolgt bei allen Sternen (auch bei den Gelben Zwergen also z.B. unserer Sonne) und kommt spätestens mit der Bildung von Eisen zum Stillstand, da die Bildung von Elementen mit einer noch höheren Ordnungszahl keine Energie erzeugt, sondern Energie verbraucht. Die Sonne schafft es allerdings aufgrund ihrer relativ kleinen Größe nur bis zum Sauerstoff. Der erste, wichtigste und am längsten dauernde Fusionsprozess

eines Sterns ist die Umwandlung von Wasserstoff zu Helium. Ist der Wasserstoff verbraucht, endet diese Phase der Kernfusion und durch den fehlenden Strahlungsdruck kollabiert der Stern. Dadurch erhöht sich der Gravitationsdruck und weitere Kernfusionen können gestartet werden. Dabei werden die gebildeten Atomkerne der Elemente immer schwerer (Helium, Sauerstoff, Kohlenstoff usw.; wenn die Masse des Sterns groß genug ist, bis zum Eisen). Mit diesen neuen Kernfusionen erhöht sich der Strahlungsdruck und die Sterne werden zu sogenannten Roten Riesen. Der Sonne wird dieses Schicksal in etwa sieben Milliarden Jahren ereilen. Sie wird sich dann auf eine Größe ausdehnen, die nach unterschiedlichen Quellen mindestens den Venusorbit, eventuell auch den Erdborbit einschließt, und möglicherweise die Erde verschlucken. Ist aller Kernbrennstoff verbraucht, fallen die Sterne in sich zusammen, wobei die äußeren Gasschichten abgestoßen werden. Bei Roten Riesen mit mehr als der achtfachen Sonnenmasse geht das Erreichen dieses Stadiums der Sternentwicklung mit einem riesigen Energieausstoß, einer sogenannten Supernova einher. Die dabei auftretende extrem hohe Energiedichte ermöglicht die

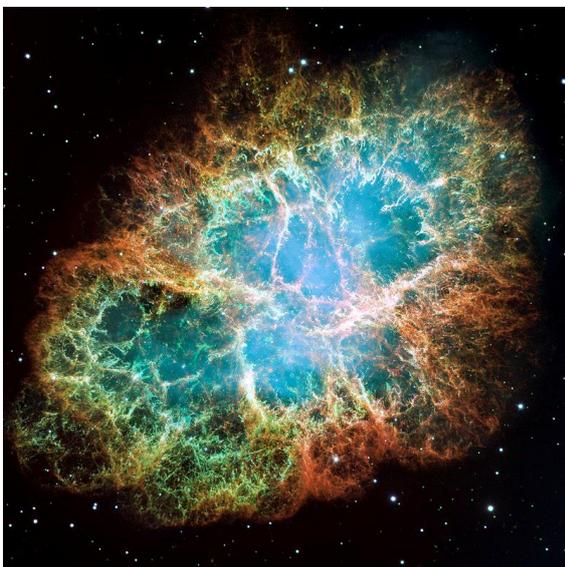


Bild 1 Eine der bekanntesten Supernova-Explosionswolken: der Krebsnebel ¹. Seit dem Jahr 1054 verteilt er sich im Weltraum. Die bei der Explosion herausgeschleuderten Elemente sind an den Farben zu erkennen: blau und rot deuten auf Sauerstoff hin, grün auf Schwefel.

energieverbrauchende Fusion von schwereren Elementen als Eisen. Bei der Explosion werden riesige Mengen an Energie und Materie mit hoher Geschwindigkeit ins All abgegeben (**Bild 1**). Der verbleibende Kern dieser Sterne fällt unter der eigenen Gravitation in sich zusammen und endet je nach Gesamtmasse als entartete extrem komprimierte Materie in Form von Weißen Zwergen (Endzustand auch der Sonne), Neutronensternen oder Schwarzen Löchern.

Als weitere Quelle schwererer Elemente wurde in letzter Zeit auch die Verschmelzung von Neutronensternen ausgemacht. Wie weiterhin gefunden wurde, entsteht ein Teil der leichteren Elemente auch durch Wechselwirkung der kosmischen Strahlung mit interstellarer Materie.

Die vorgenannten Prozesse erzeugen gewaltige Mengen kosmischen Staubs, der mit teilweise sehr hoher Geschwindigkeit über weite Entfernungen durchs Weltall katapultiert wird. Im gravitativen Einflussbereich massereicher kompakter Körper und insbesondere durch energetische Stoßwellen, die durch kosmische Ereignisse wie Supernovae, Kollisionen Schwarzer Löcher u.ä. ausgelöst werden, kommt es zu lokalen Massenzusammenballungen innerhalb der Staubwolken, die schließlich zur Bildung neuer Sterne führen. Reste der die Sterne umkreisenden ursprünglichen Staubwolken bilden in der Regel das Ausgangsmaterial für die Entstehung von Planeten und kleineren Himmelskörpern. Die Gravitation der gebildeten kompakten Himmelskörper führt zum Einsammeln weiteren vagabundierenden Sternenstaubs.

Die neu gebildeten Sterne durchlaufen einen weiteren Lebenszyklus der Materie, wobei die Dauer des (aktiven) Zyklus insbesondere von der Sternenmasse abhängt. Dabei gehen große und massereiche Sterne durch eine stark erhöhte Leuchtkraft mit ihrem Energievorrat wesentlich verschwenderischer um als kleine Sterne und leben dementsprechend kürzer. Für unsere Sonne wurde z.B. eine Gesamtlebensdauer von ca. 12 Milliarden Jahren berechnet. Rote Zwergsterne mit einem Zehntel der Sonnenmasse können dagegen bis zu 3,5 Billionen Jahre existieren, während Riesensterne mit etwa der zehnfachen Masse der Sonne bereits nach etwa 35 Millionen Jahren ihr Dasein beenden können. Heute geht man davon aus, dass im Schnitt jedes Atom auf der Erde, somit auch jedes der etwa zehn Quadrilliarden (10^{28}) Atome des menschlichen Körpers, bereits vier solcher Zyklen hinter sich hat. Eine Galaxie wie die Milchstraße mit ihren mindestens 100 Milliarden Sternen hat im Laufe ihrer Existenz etwa die Hälfte ihres Materialbestandes aus intergalaktischen Partikelwinden aufgenommen.

Fazit:

Wir bestehen also tatsächlich aus dem Staub vergangener Sterne, der teilweise schon extrem weite Reisen durch das Weltall hinter sich hat.

Der vorliegende Beitrag stellt die Herkunft der chemischen Elemente in einer zusammengefassten und vereinfachten Form dar. Wer an näheren Informationen interessiert ist findet sie u.a. hier^{2 bis 7}:

Quellen:

¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Krebsnebel>

Aufnahme: Hubble-Weltraumteleskop Bild gemeinfrei

² <https://de.wikipedia.org/wiki/Urknall>

³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Nukleosynthese>

⁴ <https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/hadronen-und-kernphysik/elemententstehung-und-erzeugung/entstehung-der-elemente/>

⁵ https://www.futura-sciences.com/de/sind-wir-aus-sternenstaub-gemacht_2139/

⁶ <https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/alter-von-sterne/>

⁷ <https://www.sueddeutsche.de/wissen/astronomie-wir-sind-sternenstaub-1.3605713>