

# Testvorbereitung 5.4.24

#NW

#Vorbereitung

Astronomie - Wissenschaft der Himmelskörper 🌞

Astrologie - Sternschwurbler (Deutung)

## Sternbilder

"zirkumpolar" - Sternbild ist das ganze Jahr beobachtbar.

Es gibt 82 offizielle Sternbilder

## Einheiten (Allgemeines)

**Astronomische Einheit (AE)** - ist die mittlere Entfernung zwischen Erde und Sonne und beträgt ca. 150 Mio km (1,496.1011m)

**Lichtjahr (Lj; La)** - ist jene Strecke, die das Licht in einem Jahr (im Vakuum) zurücklegt und beträgt ca. 63240AE oder 9,5.1015m

**Parsec (pc)** - ist jene Strecke, bei der eine AE unter einem Winkel von einer Bogensekunde ( $1''=1/3600^\circ$ ) erscheint und beträgt ca. 3,26Lj oder 3,09.1016m. Parsec ist die Abkürzung für „**Parallaxensekunde**“

---

**Milchstraße (Galaxie)** - Ansammlung gravitativ gebundener Sterne, Gas- und Staubmassen

- Durchmesser von ca. 100.000Lj
- ca. 300 Mrd. Sterne
- Universum - >100 Mrd. Galaxien
- Abstand zwischen Galax. = mehrere Mio. Lichtjahre

---

**Zur Kategorisierung ist die Helligkeit sehr wichtig**

- Maßeinheit ist die Größenklasse mit dem Einheitszeichen **m**
  - Bsp:  $L=5,3^m$

---

**Angabe der Helligkeit:**

- scheinbare (relative) Hellig. "**m**" - Vom Beobachter aus gemessen
- Absolute Helligkeit "**M**" - 10pc vom Objekt aus gemessen
- Es gilt:  $M = m + 5 - 5\lg(r)$  mit  $r$  = Abstand in pc

Der hellste Stern (Sirius) hat ca.  $-1,7^m$

---

## Beobachtungsdaten und Zustandsgrößen von Sternen

Zustand eines Gases wird durch drei Größen beschrieben:

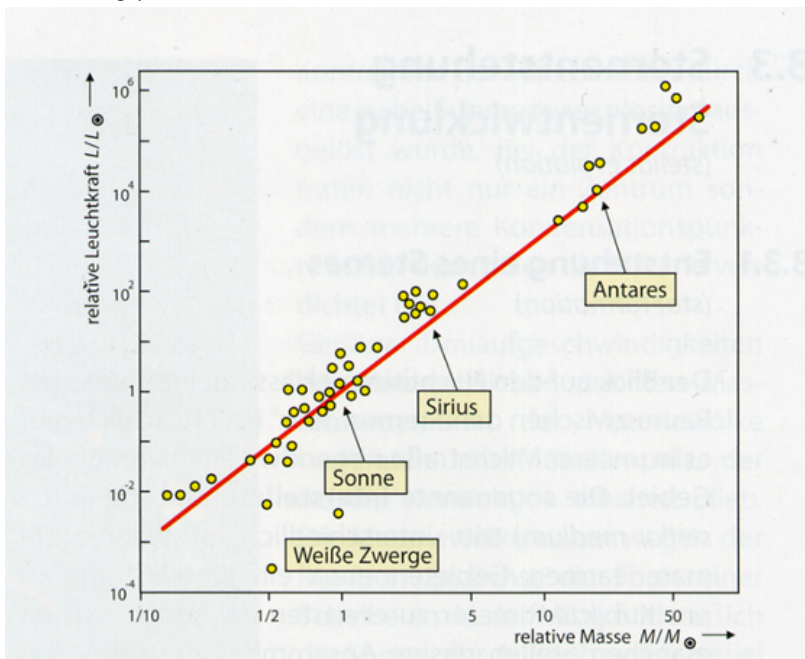
- Druck
- Volumen
- Temperatur

Sterne sind nichts anderes als große **Gasbälle**

Aus den Grundgrößen lassen sich andere Beobachtungsgrößen ableiten:

- Masse
- Radius
- Oberflächentemperatur
- Spektralklasse ("Farbe")
- Chemische Zusammensetzung
- Strahlungsleistung ("Leuchtkraft")
- Rotationsgeschwindigkeit
- Magnetfeld
- usw...

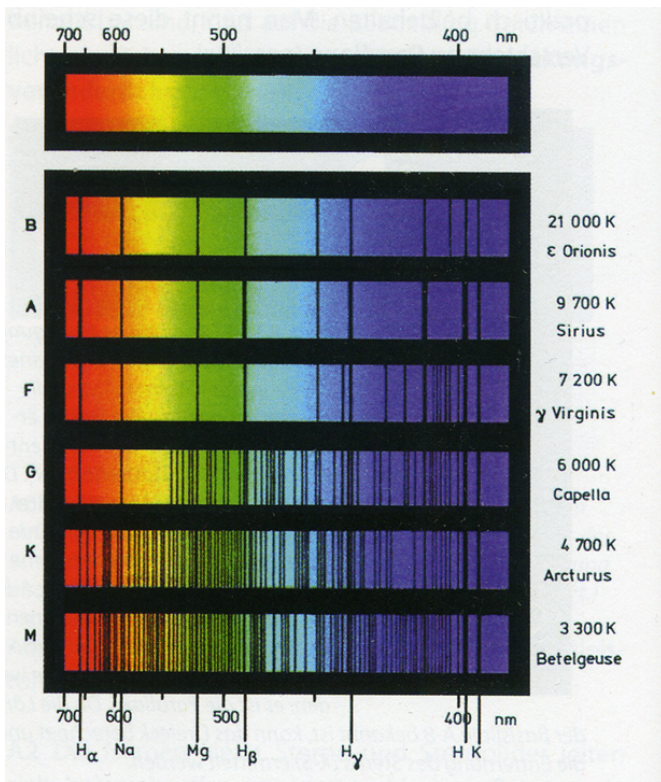
Zwischen der Masse eines Sterns und seiner Leuchtkraft besteht eine enge Korrelation („Masse-Leuchtkraft-Beziehung“):



---

## Spektralanalyse

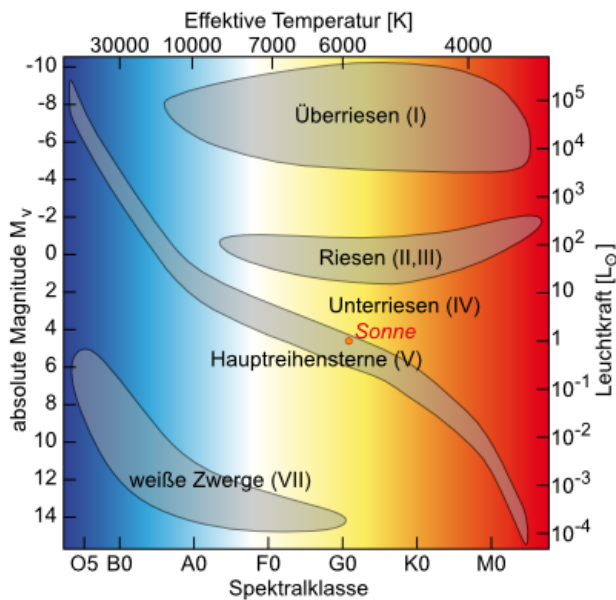
- Schwarze Linien entstehen durch Elemente die im Stern enthalten sind (z.B. Helium, Wasserstoff)



## Arten von Sternen

- Weiße Zwerge
- Braune Zwerge
- Gelbe Zwerge
- Rote Riesen
- Überriesen
- Hautreihensterne
- Veränderliche Sterne (Pulsare, Cepheiden)

## Hertzsprung - Russel - Diagramm



"Rote Riesen" (rechts oben) -> Hohe Strahlungsleistung, Niedrige Dichte

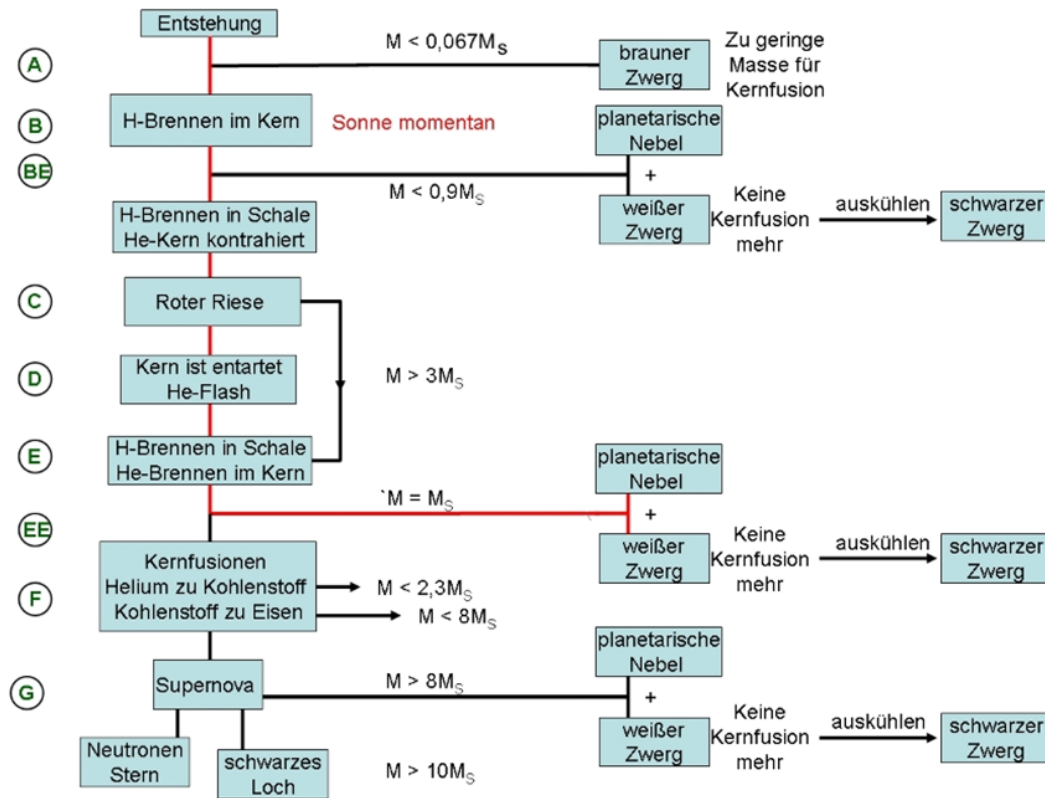
"Weiße Zwerge" (links unten) -> Niedrige Strahlungsleistung, Hohe Temperatur

Meisten Sterne liegen auf der Hauptreihe

Die Leistung des HRD liegt **nicht allein in der Katalogisierung der Sterne**, sondern vielmehr in der Möglichkeit die **zeitliche Entwicklung** eines Sterns nachzuvollziehen bzw. vorherzusagen. Je nachdem welche Masse ein Stern bei seiner „Geburt“ erhält, ist sein Weg im HRD und damit auch seine Lebensdauer vorgegeben. Grob gesagt leben massereiche Sterne kürzer und massearme Sterne länger.

## Sternentstehung

In Galaxien ist der Raum zwischen den Sternen **nicht vollkommen leer**, sondern enthält interstellare Materie in unterschiedlichen (**niedrigen**) Dichten. Diese Materie kann sich aufgrund von **Unregelmäßigkeiten oder Stoßwellen** zu **Protosternen kondensieren**, die sich aufgrund von **Gravitation** und Drehimpuls langsam **zusammenziehen** und schließlich **Kernreaktionen** auslösen, bei denen Wasserstoff zu Helium fusioniert. Dadurch entsteht ein Gleichgewicht zwischen Strahlungs- und Gravitationsdruck, und ein stabiler Stern wird geboren. Die **Lebensdauer** eines Sterns hängt von seiner **Anfangsmasse** ab, wobei **massereiche** Sterne **schneller** durch die verschiedenen **Entwicklungsphasen** gehen. Am **Ende ihres Lebenszyklus**, wenn der Wasserstoff verbraucht ist, **blähen** sich Sterne **auf** und **fusionieren** Helium zu schwereren Elementen wie Kohlenstoff. Die Dauer dieser weiteren Entwicklungsphase variiert je nach Sternmasse.



## A) Braune Zwerge

Die kleinste Masse, die zur Bildung eines Sterns führen kann, beträgt etwa 0,07 Sonnenmassen. Unterhalb dieser Grenze ist die Gravitationskraft nicht stark genug, um die Materie auf die erforderliche Temperatur für die Wasserstofffusion zu erhitzen. Stattdessen entsteht ein sogenannter brauner Zwerg, der aufgrund mangelnder Kernfusion auskühlt und daher im sichtbaren Spektralbereich nicht sichtbar ist.

## B) Stabile Sterne

Das **Wasserstoffbrennen im Kern** eines Sterns verläuft stabil, solange etwa **15% des Wasserstoffs** verbraucht sind. Die Sonne bleibt etwa **10 Milliarden Jahre** lang in diesem Stadium, wobei etwa die Hälfte dieser Zeit bereits vergangen ist. Im Vergleich dazu dauert es bei einem **zehnmal schwereren Stern** nur etwa **10 Millionen Jahre**. Dies liegt daran, dass **schwerere Sterne** wesentlich mehr Energie erzeugen müssen, um ihr gravitatives Gleichgewicht aufrechtzuerhalten. Ein Stern mit **10 Sonnenmassen** muss etwa **10.000-mal mehr Energie** produzieren als ein Stern mit einer Sonnenmasse. Da er jedoch nur **10-mal mehr Masse** hat, verbraucht er seine Energie etwa **1000-mal schneller** als die Sonne.

## BE) Endstadium planetarische Nebel und Weiße Zwerge

Bei Sternen mit einer Masse von **0,08 bis 0,9 Sonnenmassen** wird nach dem Verbrauch des Wasserstoffs im Inneren das Endstadium erreicht. Infolge von Instabilitäten stößt der Stern seine äußeren Schichten vom Kern ab, wodurch eine expandierende Gasschale entsteht und schließlich ein sogenannter Planetarischer Nebel gebildet wird. Die Bestandteile des Nebels verflüchtigen sich im Laufe der Zeit ins All. Während ihrer späten Entwicklungsstadien verlieren die meisten Sterne erheblich an Masse durch kräftige Sternwinde. Die übrige Materie verdichtet sich zu einem **Weißen Zwerg**.

Weiße Zwerge werden nicht durch thermischen Gegendruck stabilisiert, sondern durch quantenmechanische Effekte. Die Materie kontrahiert so weit, bis das Pauli-Prinzip wirksam wird, welches besagt, dass zwei Fermionen (z. B. Elektronen) nicht gleichzeitig am gleichen Ort denselben Quantenzustand annehmen können. Daher müssen sie sich in ihrem Impuls unterscheiden, was einen Gegendruck erzeugt. Dieser Gegendruck, verursacht

durch das Pauli-Prinzip, überwiegt den Druck der Masse durch thermische Energie im gesamten Kern, was als entarteter Zustand bezeichnet wird.

Die Masse eines Weißen Zwergs überschreitet die **Chandrasekhar-Grenze von 1,44 Sonnenmassen** nicht, da der entartete Zustand des Elektronengases nicht größere Massen stabilisieren kann. Sterne mit einer höheren Masse als 1,44 Sonnenmassen kollabieren zu weiteren Zuständen.

Weißer Zwerge haben entsprechend kleine Durchmesser (typischerweise 10.000 km) und anfänglich sehr hohe Temperaturen von etwa 100.000 Grad. Aufgrund ihrer relativ kleinen Oberfläche strahlen sie nur eine geringe Energiemenge ab, weshalb der Abkühlungsprozess zum **Schwarzen Zwerg** viele Milliarden Jahre dauert.

Sterne mit einer Masse größer als **0,9 Sonnenmassen** gehen nach dem Erreichen des Wasserstoff-Minimalanteils in eine weitere Entwicklungsstufe über.

## C) Roter Riese

Beim Verbrauch von **15% des Wasserstoffvorrats** wird die Kernfusion schnell instabil, was drastische Umstrukturierungen im Stern zur Folge hat. Der durch die absterbende Kernfusion einhergehende Druckverlust führt dazu, dass der Kern des Sterns rasch zu kontrahieren beginnt. Diese Kontraktion setzt Gravitationsenergie frei, die die umhüllende Wasserstoffschale so weit aufheizt, dass die Wasserstoff-Fusion erneut einsetzen kann, jedoch nur noch in einer Kugelschale um den Kern herum. Da diese Kugelschale volumenmäßig größer ist als der Kern im stabilen Zustand, steigt die Energieproduktion und damit die Leuchtkraft des Sterns. Um ein neues Gleichgewicht zu finden, dehnt sich der Stern aus (ähnlich zur Sonne bis zur Erdbahn) und senkt seine Oberflächentemperatur auf etwa **3000 bis 4000 Grad**. In diesem Stadium werden die Sterne als **Rote Riesen** bezeichnet und können Phasen der Instabilität der Leuchtkraft durchlaufen. Sie ändern ihre Helligkeiten in Perioden von **1 bis 1000 Tagen** um einen Faktor von bis zu **5**. Diese veränderlichen Sterne gehören zu den Typen **Delta Cephei** oder **W-Virginis** und damit zur Gruppe der sogenannten **Pulsationsveränderlichen**.

## D) Helium Flash

Im weiteren Verlauf der Sternentwicklung zieht sich der Wasserstoffkern weiter zusammen. Ist die Masse des Sternes groß genug, nämlich über **3 Sonnenmassen**, so reicht die Gravitationsenergie aus, um genug Druck und Temperatur im Kern des Sternes bei der Kontraktion zu erzeugen, damit das **Heliumbrennen** einsetzen kann. Bei Sternen unter 3 Sonnenmassen kann das Heliumbrennen nicht direkt einsetzen, sondern nur über den so genannten **Helium-Flash**. In diesem Fall reicht die durch die Kontraktion entstehende Hitze zunächst nicht aus, um das Heliumbrennen zu zünden. Deswegen kontrahiert der Stern weiter, bis der Kern eine so hohe Dichte erreicht hat, dass die Materie im Kern entartet, das heißt, Dichte und Druck hängen nicht mehr von der Temperatur ab (siehe Weißer Zwerg).

Wenn schließlich doch die nötige Temperatur erreicht wird, zündet das Heliumbrennen explosionsartig: die Temperatur steigt stark an, während Dichte und Druck aufgrund der Entartung unverändert bleiben, das heißt, der Kern expandiert nicht. Der Temperaturanstieg bewirkt, dass die Energieerzeugung durch Heliumbrennen noch effizienter wird, was wiederum die Temperatur erhöht. Das Ergebnis ist eine lokale und kurzzeitige Energieerzeugungsrate, die **100 Milliarden Sonnenleuchtkräften** entspricht. Diese Energie wird allerdings vollständig von der Hülle absorbiert, die den Kern umgibt. Daher ist eine direkte Beobachtung des Phänomens, welches Helium-Flash genannt wird, nicht möglich. Nach kurzer Zeit ist die Temperatur hoch genug und die Entartung wird aufgehoben, das heißt, der Kern dehnt sich aus und kühlt ab. In ihm findet nun Heliumbrennen mit stabilen Reaktionsraten statt.

## E) Heliumbrennen

Nun fusioniert Helium im Kern und Wasserstoff in einer Schale.

## EE) Sonnenende

Ein Stern mit der Masse unserer Sonne hat nach dem Verbrauch des Heliums im Kern sein Ende erreicht. Der Kern kollabiert nach dem Erlöschen der Kernfusion, stößt die äußere Hülle ab, und zurück bleibt ein **planetarischer Nebel** sowie ein **Weißer Zwerg**.

## F) Schwere Elemente

Hat ein Stern eine größere Masse als die der Sonne, setzt die Entwicklung als **Roter Riese** fort, der im Laufe seiner Entwicklung Leuchtkraft, Radius und Temperatur ändert, um den nächsthöheren Kernprozess zu starten. Der weitere Entwicklungsweg des Sternes hängt von seiner Masse ab: Für einen Stern unter **2,3 Sonnenmassen** ist nach dem Heliumbrennen das Ende erreicht, und er wird zu einem **Weißer Zwerg**. In einem Stern über 2,3 Sonnenmassen findet zunächst im Kern Heliumbrennen statt, während in der Hülle das Wasserstoffbrennen weiterläuft. Im weiteren Verlauf werden im Kern neue Fusionsreaktionen aufgrund der neu erbrüteten Elemente gestartet, wie das Kohlenstoff-, Sauerstoff- und Siliziumbrennen. Dabei bilden sich Zwiebelschalen von Fusionsgebieten aus. Sterne unter **8 Sonnenmassen**, bei denen die Kernfusion nur bis zum Kohlenstoffbrennen geht, stoßen jetzt einen planetarischen Nebel ab und schrumpfen zum Weißen Zwerg. Sterne mit mehr als **8 Sonnenmassen** haben nun einen Eisenkern. Eisen ist in gewissem Sinne die "Sternenasche", da aus Eisen durch Kernfusion keine Energie gewonnen werden kann. Der Kern ist von Schalen umgeben, in denen gleichzeitig Silizium, Sauerstoff und Kohlenstoff verbrennen.

## G) Supernova

In Sternen über 8 Sonnenmassen hat sich, wie oben beschrieben, ein Eisenkern von mindestens einer Sonnenmasse gebildet, und es kann dann eine völlig neue Reaktionskette einsetzen. In diesem Entwicklungsstadium kann der Kern plötzlich so weit in sich zusammenfallen, dass es zu einer Implosion mit katastrophalen Auswirkungen kommt: dem Ausbruch einer Supernova (Typ II). Übrig bleibt vom Stern lediglich der extrem verdichtete Kern, aus dem sich bis zu einer Kernmasse von 2 Sonnenmassen ein **Neutronenstern** bildet. Die Materie entartet, wobei der Druck nicht von den Elektronen, wie beim Weißen Zwerg, sondern von Neutronen (Neutronengas) aufgebracht wird. Diese erzeugen aufgrund ihrer höheren Masse (das Neutron ist 1000-mal schwerer als das Elektron) einen größeren Druck und können so eine größere Sternmasse stabilisieren.

Bei Sternen über etwa 10 Sonnenmassen ist der übrig gebliebene Kern nach der Supernovaexplosion so groß, dass selbst das entartete Neutronengas dem Gravitationsdruck nicht entgegenwirken kann. Er kollabiert zum **Schwarzen Loch**.

Die Sterne haben im Laufe ihrer Entwicklung schwere Elemente bis zum Eisen erzeugt. Die Bildung der noch schwereren Elemente erfordert die Zufuhr von Energie, wie sie bei Supernovaexplosionen auftritt. Die schweren Elemente, die ein Stern erbrütet hat, gibt er wieder in den Weltraum ab. Aus diesen Gasnebeln bildet sich die nächste Generation von Sternen, die den Anteil an schweren Elementen erhöht. Erst durch diese Anreicherung mit schweren Elementen sind genug Materialien vorhanden, um Planeten zu bilden und letztendlich Leben zu ermöglichen. Im Laufe ihres Lebens erhöhen die Sterne ihre **Metallizität**, vorausgesetzt, sie haben genug Masse. "Metallizität" ist in der Astrophysik eine gebräuchliche Bezeichnung für die Häufigkeit der schweren Elemente (Metalle) in Sternen. Dabei werden alle Elemente, die schwerer sind als Lithium, als Metalle betrachtet.

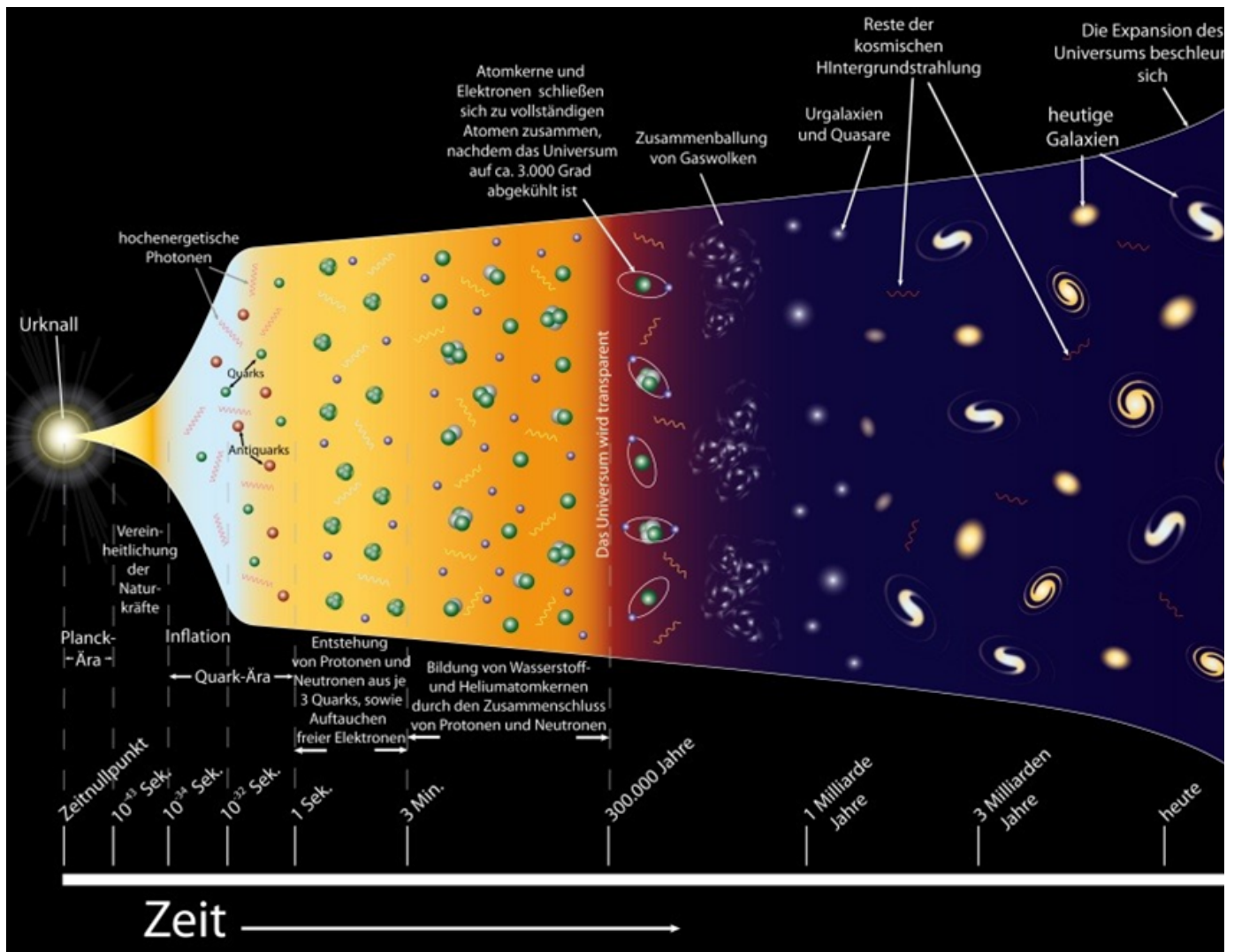
## Planetensystem

Nahezu gleichzeitig mit der Entstehung eines Sterns kann es auch zur Bildung eines Planetensystems kommen, da es nicht nur im Zentrum, sondern auch in den Außenbereichen der Gaswolke zur Kondensation von Materie kommen kann, aus denen dann die Planeten entstehen. Die schwereren Elemente sammeln sich eher in diesen Außenbereichen, daher können sowohl Gesteins- als auch Gasplaneten entstehen. Die schwereren Elemente wie Eisen können nur aus Supernova-Explosionen stammen. Das bedeutet, Planeten wie unsere Erde können nur dort entstehen, wo in früheren Zeitaltern schon Sterne "gestorben" sind. Daher bestehen wir sprichwörtlich auch aus "Sternenstaub"...

## Entstehung und Entwicklung des Universums



Bei der Untersuchung von entfernten Galaxien durch E.P. Hubble stellte sich zu Beginn des 20. Jhdts. heraus, dass sich alle Galaxien von uns entfernen. Und zwar umso schneller, je weiter diese von uns entfernt sind.



Diese Entdeckung hat zum Modell des expandierenden Universums und letztlich auch zum Urknallmodell geführt, denn wenn man die Galaxien-Bewegung zurückrechnet, erkennt man, dass vor ca. 14 Mrd. Jahren das Universum in einem sehr kleinen Raumbereich konzentriert war und eine dramatische Expansion (keine „Explosion“!) stattgefunden haben muss.

Am Anfang der Zeit - vor **13,82 Milliarden Jahren** - war "alles" (Materie und Energie), sowie auch der Raum an sich, in einer **Singularität** vereint. Nach neuesten Erkenntnissen geht man davon aus, dass es "vor" dem Urknall nur **Quantenfluktuationen** gab, die sich gegenseitig aufhoben. Es existierte jedoch die geringe Wahrscheinlichkeit eines Zustandes, dessen Energie von Null verschieden war. Dies könnte der Beginn von Raum und Zeit gewesen sein. Es gab jedoch noch keine verschiedenen Naturkräfte, sondern nur eine "Superkraft", und Raum, Zeit und Energie waren nicht unterscheidbar. Als kürzeste Zeitspanne gilt die **Planck-Zeit** mit  $(5,4 \times 10^{-44})$  Sekunden. Als erstes spaltete sich die **Gravitation** ab, und es blieb die **GUT (Grand Unified Theory)** übrig, die die Starke und Schwache Wechselwirkung sowie die Elektromagnetische Wechselwirkung beinhaltet.

In dieser kurzen Zeit (ca.  $(10^{-35})$  Sekunden) nach dem Urknall fand eine extreme Expansion, die sog. **"Inflation"** statt: dabei dehnte sich der Raum mit **Überlichtgeschwindigkeit** aus, was jedoch keine Verletzung der Relativitätstheorie darstellt, da keine Masse tatsächlich bewegt wurde. Danach (ca.  $(10^{-30})$  Sekunden) spaltete sich die **Starke Kernkraft** ab, und es bildeten sich die **Fundamentarteilchen** (Quarks, Leptonen, Elektronen, Neutrinos) mit Hilfe des **Higgs-Bosons**. Nach etwa  $(10^{-10})$  Sekunden trennten sich auch die **Schwache** und die **Elektromagnetische Wechselwirkung**. In den ersten paar Sekunden bildeten sich die ersten Elemente: **Wasserstoff** und **Helium**, jedoch in ionisierter Form. Das Universum war undurchsichtig, da es nur



Plasma gab und nur freie Elektronen vorhanden waren, die jede Strahlung absorbierten. Erst nach **380.000 Jahren** war die Temperatur des Plasmas so weit abgekühlt, dass sich neutrale Atome bilden konnten und das Universum wurde durchsichtig ("...und es ward Licht!").

Urknall Fragen gehen nicht ins Detail

Mexican Hat: Bestimmtes Feld was herrschen