

# Seltsame Objekte im Universum

## Das Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD)

Das Hertzsprung-Russell-Diagramm ordnet die Sterne nach ihrer Leuchtkraft und nach den Eigenschaften ihres Spektrums (hauptsächlich Oberflächentemperatur). In der Hauptreihe liegt z. B. unsere Sonne, es sind Sterne mit durchschnittlicher Leuchtkraft und Oberflächentemperatur, sie beziehen ihre Energie aus der Kernfusion von Wasserstoff zu Helium.

## Rote Riesen

Nachdem ein Stern den Wasserstoff im Kern verbraucht hat, wird er zu einem Roten Riesen. Normalerweise ist ein Stern ein Gleichgewichtssystem zwischen Schwerkraft und der Energie der Kernfusion. Durch den Wasserstoffmangel stoppt die Kernfusion, die Schwerkraft presst den Kern zusammen. Das Helium im Kern fusioniert zu schweren Elementen bis hin zu Eisen. Die freigesetzte Bindungsenergie heizt den Bereich um den Kern auf, schließlich beginnt dort das Wasserstoffschalenbrennen. Das dort erzeugte Helium fällt in den Kern, die Energie wird nach außen abgeführt, der Stern bläht sich deshalb auf. Der Kern des Sterns ist extrem komprimiert, in den äußeren Schichten ist das Gegenteil der Fall.

Rote Riesen haben wegen ihrer Größe von mehreren 100 Millionen bis zu 5 Milliarden Kilometern eine so große Leuchtkraft. Durch ihre geringe Temperatur von ca. 3000°C erscheinen sie rot.

## Nach dem Roten Riesen

Wenn der Kern des Roten Riesen nur noch aus Eisen besteht, kann dieses nicht weiter fusionieren. Durch den Verlust der Bindungsenergie erlischt das Wasserstoffschalenbrennen, dem Gravitationsdruck steht nun keine Kraft entgegen.

Bei einem **massearmen Stern** werden die äußeren Schichten abgestoßen, es entsteht ein planetarischer Nebel. Der Kern verdichtet sich, bis der Entartungsdruck der Teilchen gleich groß wie die Schwerkraft ist. (Entartungsdruck: Nach dem Pauli-Prinzip dürfen zwei Elektronen / Protonen / Neutronen nicht den gleichen Ort und Impuls haben. Da der Raum sehr begrenzt ist, bekommen die Teilchen einen sehr hohen Impuls.) Nun ist ein **Weißer Zwerg** entstanden, er hat eine Masse von maximal 1,4 Sonnen, einen Radius von 20.000 km und eine Temperatur von 25.000°C. Da ein Weißer Zwerg keine eigene Energiequelle mehr hat, kühlt er mit der Zeit aus, er wird dann zu einem Schwarzen Zwerg.

Ein **massereicher Stern** explodiert in einer Supernova. Der Rote Riese fällt in sich zusammen, auch der Entartungsdruck reicht nicht aus um die starke Schwerkraft auszugleichen. Schließlich werden die Elektronen mit den Protonen in den Atomkernen zu Neutronen, es entsteht ein **Neutronenstern** (Masse: zwischen 1,4 und 3,2 Sonnenmassen, Dichte: 1 Milliarde Tonnen pro Kubikzentimeter, Radius: 10 km). Die nachstürzende Materie prallt nun schlagartig auf diesen harten Kern, sie wird abgebremst und in einer gigantischen Schockwelle mit bis zu 20.000 km/s nach außen in einer **Supernova** weggeschleudert.

Hat der Stern eine so große Masse, dass auch die Festigkeit eines Neutronensterns nicht mehr gegen die Gravitationskraft ankommt, dann entsteht ein **Schwarzes Loch**. Der Stern mit mindestens 3,2 Sonnenmassen kollabiert unendlich weiter, deshalb hat er auch keine feste Oberfläche mehr.

## Schwarze Löcher

### Verschiedene Typen von Schwarzen Löchern

#### Schwarze Löcher im Kern von Galaxien

Sie werden im Zentrum von Galaxien vermutet, auch in unserer Milchstraße. Nur so sind die in den Galaxiezentren herrschenden Masseverhältnisse zu erklären, nicht einmal der kompakteste Sternhaufen könnte eine so große Masse haben.

#### Stellare Schwarze Löcher

Die bereits erwähnten stellaren Schwarzen Löcher entstehen aus Sternen.

## Der Ereignishorizont (Schwarzschild-Radius)

Als Ereignishorizont oder Schwarzschild-Radius wird der Punkt bezeichnet, an dem die Fluchtgeschwindigkeit eines Körpers die Lichtgeschwindigkeit haben muss, um stehen zu bleiben. Ist ein Stern kleiner als dieser Radius, dann ist er ein Schwarzes Loch. Jede Materie, die in diesen Radius hineingerät, müsste schneller als Licht sein, um dem schwarzen Loch zu entkommen. Da dies aber laut der Relativitätstheorie nicht möglich ist, kann etwas, das in ein schwarzes Loch gefallen ist, nie wieder entkommen.

Berechnung des Radius:  $R_S = 2 * G * M / c^2$

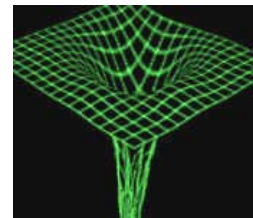
(Schwarzschild-Radius = 2 \* Gravitationskonstante \* Masse / Lichtgeschwindigkeit<sup>2</sup>)

## Wie kann man Schwarze Löcher sehen?

Schwarze Löcher selbst sind nicht sichtbar, da ihnen kein Licht entkommen kann. Ihre Auswirkungen auf die Umgebung sind aber sichtbar. Wegen ihrer großen Masse ziehen sie (wie jeder Körper) Materie an. Diese gerät in eine sogenannte **Akkretionsscheibe**, eine Umlaufbahn um das Schwarze Loch. Auf dieser Akkretionsscheibe wird die Materie durch Reibung mit anderer Materie stark erhitzt, deshalb werden gewaltige Mengen Licht und kurzwellige Strahlung aus dieser Zone emittiert. Dies ist die beste Möglichkeit, Schwarze Löcher zu beobachten.

## Raumkrümmung

Nach der allgemeinen Relativitätstheorie sind die Gesetze der Physik von der Stärke des jeweiligen Gravitationsfeldes betroffen. Schwarze Löcher sind deshalb so interessant, da sie wegen ihrer gigantischen Gravitationswirkung die Raum-Zeit so extrem einkrümmen oder „zuspitzen“, dass sie an dieser Stelle zerreißt. Dieses Loch in der Raum-Zeit nennt man Singularität. Die Raumkrümmung nimmt mit zunehmendem Abstand von der Masse ab.



## Rotierende Schwarze Löcher

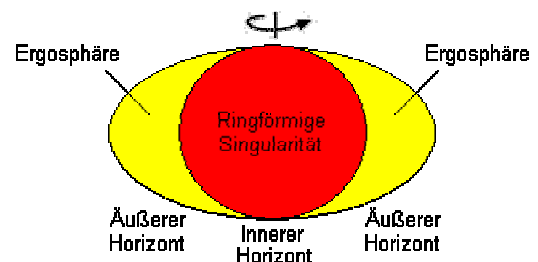
Wenn ein rotierender Stern kollabiert, dann bleibt der Drehimpuls erhalten. Schwarzschild hat nur die Raumzeit-Struktur in der Nähe eines nichtrotierenden (statischen) schwarzen Lochs beschrieben. Rotierende schwarze Löcher sind komplizierter.

### Raum um ein Rotierendes Schwarzes Loch

Der Raum um das Schwarze Loch wird mit der Rotation mitgeführt. Bei der langsamen Rotation von Planeten hat dies fast keine Auswirkungen, bei einem schwarzen Loch wird der Raum jedoch regelrecht „mitgerissen“.

### Aufbau eines Rotierenden Schwarzen Lochs

Rotierende schwarze Löcher haben zwei Horizonte: Der innere Horizont ist exakt der bekannte Schwarzschild-Radius, der äußere Horizont hat die Form einer Ellipse und hat senkrecht zur Rotationsachse des schwarzen Lochs die größte Ausdehnung. Die Entweichgeschwindigkeit in dieser sogenannten Ergosphäre ist gleich der Lichtgeschwindigkeit.



## Quasare

Quasare sind aktive Kerne sehr leuchtkräftiger Galaxien, sie sind große Licht- und Radioquellen. Ihre Leuchtkraft beträgt die von 100 Millionen Sonnen, sie haben aber nur den Durchmesser unseres Sonnensystems.

Diese große Energiefreisetzung ist nur durch ein supermassives schwarzes Loch mit sehr schneller Rotation im Zentrum der Galaxie zu erklären. Das zentrale schwarze Loch hat eine Masse von 100 Mio. bis 1 Mrd. Sonnenmassen. Der Grad der Energieumwandlung ist hier sehr hoch, bei bis zu 40 Prozent. Dieser Prozess liefert rund 1000 mal so viel Energie wie die Kernfusion von Wasserstoff zu Helium. In der auf viele Millionen Grad erhitzten Akkretionsscheibe entsteht die Strahlung, die wir auf der Erde empfangen.