

Schwarze Löcher

Ein **Schwarzes Loch** ist ein sehr massenreiches Objekt, das in seiner unmittelbaren Umgebung eine so starke Schwerkraft erzeugt, dass weder Materie noch Information, etwa Licht- oder Radiosignale, diese Umgebung verlassen kann.

Würde zum Beispiel die gesamte Masse der Sonne unter dem Einfluss der Schwerkraft zu einer Kugel mit nur drei Kilometer Radius reduziert, dann könnte kein Lichtstrahl nach außen gelangen. Die gesamte Masse unserer Erde würde sich erst bei einem Radius von weniger als einem Zentimeter in ein Schwarzes Loch verwandeln. Aber keine Angst, beide Himmelskörper sind zu massearm, um zu schwarzen Löchern zu werden.

Allgemein hat die Masse eines Körpers immer Gravitationskräfte, also Schwerkraft bzw. Anziehungskraft zur Folge. Normalerweise hält sich ein Himmelskörper auf diese Weise von allein zusammen. Die Gravitationskraft führt zu einer Kompression des Körpers. Jedoch gibt es Gegenkräfte im Inneren, die eine weitere Kompression aufhalten, was zu einem Gleichgewicht zwischen Gravitation und den Gegenkräften führt. Bei den Gegenkräften kann es sich beispielsweise bei den Sternen wie unsere Sonne, um den thermodynamischen Druck des erhitzten Gases oder, wie bei den Planeten, um die Abstoßung zwischen den Atomen oder Nukleonen handeln.

Wenn eine kritische Dichte überschritten wird, reichen die Gegenkräfte nicht mehr aus, um die Gravitation zu kompensieren. Ein Gravitationskollaps ist die Folge: Die Gravitationskraft steigt schneller an als die durch Abstoßung der Teilchen resultierenden Gegenkräfte. Dadurch beschleunigt sich der Prozess selbst. Die Masse fällt auf ein verschwindendes Volumen zusammen. Die immer weiter ansteigende Gravitation verzerrt lokal den Raum und den Ablauf der Zeit.

Da die Masse erhalten bleibt, wächst die Dichte des Körpers über alle Grenzen. Solche Körper krümmen die Raumzeit um sich herum so stark, dass man anschaulich von einem Loch im Gefüge des Raums sprechen könnte, man spricht auch von einer Singularität. Die Singularität wird von einem Raumzeitbereich umgeben, aus dem weder Materie noch Information nach außen gelangen kann. Die Grenze dieses Bereichs ist der sogenannte Ereignishorizont, die Entfernung des Ereignishorizontes von der Singularität ist der sogenannte Schwarzschildradius.

Schwarze Löcher werden nach der Entstehungsweise und aufgrund ihrer Masse in verschiedene Klassen eingeteilt:

Supermassereiche Schwarze Löcher können die millionen- bis milliardenfache Sonnenmasse haben und befinden sich in den Zentren von Galaxien. So ist die starke Radioquelle Sagittarius A im Zentrum der Milchstraße ein supermassives Schwarzes Loch von 4,3 Millionen Sonnenmassen. Im Zentrum der Galaxie M87 wurde ein Schwarzes Loch mit einer Masse von 6,6 Milliarden Sonnenmassen nachgewiesen. Aktuelle Rekorde stellen ein Schwarzes Loch von 18 Milliarden Sonnenmassen in einem Quasar und eines von geschätzten 21 Milliarden Sonnenmassen im Zentrum der Galaxie NGC 4889. Quasare sind Zentren von sog aktiven Galaxien, in denen Materie auf ein schwarzes Loch stürzt und dadurch gigantische Energiemengen abgestrahlt werden.

Mittelschwere Schwarze Löcher von einigen hundert bis wenigen tausend Sonnenmassen entstehen möglicherweise infolge von Sternenkollisionen und -verschmelzungen. Sie sind allerdings noch nicht zweifelsfrei nachgewiesen.

Stellare Schwarze Löcher stellen den Endzustand der Entwicklung massereicher Sterne dar. Sterne, deren Anfangsmasse kleiner als drei Sonnenmassen ist, können nicht zu einem Schwarzen Loch werden. Sie beenden ihr Leben als vergleichsweise unspektakulär auskühlender Sternenrest (Weißer Zwerg/Neutronenstern). Sterne, deren Anfangsmasse drei Sonnenmassen übersteigt, etwa Blaue Riesen), durchlaufen am Ende ihres Lebens eine Entwicklung die zu einer sog. Kernkollaps-Supernova führt. Sie explodieren, wobei der übrigbleibende Sternenrest zu einem Schwarzen Loch kollabiert, sofern er noch mehr als 2,5 Sonnenmassen besitzt. Durch die Beobachtung von Gravitationswellen konnte im September 2015 die Verschmelzung zweier stellarer Schwarzer Löcher mit etwa 36 und 29 Sonnenmassen beobachtet werden. Das resultierende Schwarze Loch hat eine Masse von etwa 62 Sonnenmassen. Die unvorstellbare Energie von 3 Sonnenmassen wurde in Form von Gravitationswellen abgestrahlt. Dies ist das derzeit massereichste bekannte stellare Schwarze Loch.

Ein weiteres sehr massereiches Schwarzes Loch in der Zwerggalaxie IC 10 im Sternbild Kassiopeia hat eine Masse von 24 bis 33 Sonnenmassen. Es ist Teil eines Doppelsternsystems. Das Schwarze Loch wurde indirekt durch die in ihrer Stärke schwankende Röntgenstrahlung des begleitenden Sterns entdeckt.

Primordiale Schwarze Löcher: Anfang der 1970er Jahre stellte Stephen W. Hawking als Erster die Vermutung auf, dass es neben den bekannten Schwarzen Löchern, auch sogenannte primordiale Schwarze Löcher geben könnte. Das sind Schwarze Löcher, die sich bereits beim Urknall vor 13,7 Mrd. gebildet haben. Damals könnten sich sehr kleine Schwarze Löcher mit einer Masse von etwa 1 Mrd t gebildet haben. Die Existenz von primordialen Schwarzen Löchern ist jedoch spekulativ und sie sind noch nie nachgewiesen worden.

Eine direkte Beobachtung von Schwarzen Löchern gilt als praktisch unmöglich, man kann sie nur mit indirekten Methoden finden. Insbesondere von Bedeutung für die Entdeckung von Schwarzen Löchern sind die Folgen des Hineinfallens der Materie in den Ereignishorizont. Da der Ereignishorizont ein für kosmische Verhältnisse sehr kleines Gebiet umschließt, erreicht die einfallende Materie auch schon in einem Bereich vor dem Ereignishorizont eine sehr hohe Verdichtung und Beschleunigung durch die Gravitationskräfte. Bei rotierenden Schwarzen Löchern geschieht dies in Form einer Akkretionsscheibe. Das ist ein kosmischer Malstrom in dem sich die Materie aneinander reibt und dabei große Mengen Energie frei setzt, sowohl als elektromagnetische Strahlung, wie Röntgen und Gammastrahlung, als auch als durch fast bis zur Lichtgeschwindigkeit beschleunigte Teilchen in den polaren Jets.

Das schwarze Loch im Zentrum unserer Milchstraße wurde dadurch dingfest gemacht, weil mit Infrarotteleskopen Sterne gefunden wurden, die mit hohen Geschwindigkeiten (bis 10.000 km/sek.) um ein nicht sichtbares Objekt mit sehr hoher Masse kreisen. Mit dieser Geschwindigkeit und dem bekannten Abstand der Sterne vom Massenzentrum ergibt sich gemäß den Keplergesetzen ein Objekt mit einer Masse von ca. 4 Mill. Sonnenmassen. Das kann gemäß anderer physikalischer Gesetze nur ein Schwarzes Loch sein.