

Was sind Schwarze Löcher ?

Als 1916 der deutsche Astronom und Mathematiker **Karl Schwarzschild** die erste exakte Lösung der **Einsteinschen Gleichungen** der Allgemeinen Relativitätstheorie für das Gravitationsfeld außerhalb einer kugelsymmetrischen Masse fand, war die wissenschaftliche Welt ziemlich ratlos. Die Lösung enthielt nämlich einen "pathologischen" Fall, für den die Gravitationswirkung so ungeheuerlich wird, dass jegliche Strahlung in diesem Fall ein für allemal gefangen bleibt, also nichts, nicht einmal das Licht dem Bann der Schwerkraft entkommen kann.

Dies sollte für jeden beliebigen Körper gelten, wenn er nur auf ein hinreichend kleines Volumen zusammengepresst würde. Beispielsweise würde danach kein Licht die Sonne verlassen, wenn diese zu einer Kugel mit einem Radius von etwa drei Kilometern komprimiert würde. Für die Erde träte dieser Fall schon bei einem Radius von etwas mehr als 8 mm (!) ein. Sonne und Erde hätten sich in ein **Schwarzes Loch** verwandelt, wie der Physiker John A. Wheeler derartig exotische Gebilde erstmals genannt hat. Der jeweilige Radius eines Objekts, für den die Massendichte so groß wird, dass ein Schwarzes Loch entsteht, wird heute als **Schwarzschild-Radius** und die Oberfläche dieses Objekts als **Ereignishorizont oder Schwarzschild-Oberfläche** bezeichnet.

Diese Folgerung aus der Einsteinschen Gravitationstheorie war jedoch so unglaublich, dass man sie lange Zeit nicht akzeptierte (auch Einstein selbst nicht). Erst in den neunzehnhundertvierziger Jahren erkannte man, dass es tatsächlich solche Gebilde wie Schwarze Löcher geben müsse mit all ihren bizarren Eigenschaften, die die Theorie vorhersagt. Allerdings kann nicht jeder beliebige Körper zu einem Schwarzen Loch degenerieren, denn dafür sind besondere Bedingungen erforderlich. Im kosmischen Bereich können grundsätzlich nur massereiche Sterne am Ende ihrer Lebensdauer zu Schwarzen Löchern werden. Dies geschieht gegebenenfalls dann, wenn ein Stern erlischt, nachdem er seinen gesamten Kernbrennstoff verbraucht hat, und deshalb der Gravitation kein innerer Druck mehr entgegenwirken kann. Nach einer **Supernova**-Explosion stürzen dann die Reste des Sterns unter der "Last" ihrer eigenen Schwerkraft vollständig in sich zusammen. Aber keine Angst, unsere Sonne kann nie ein Schwarzes Loch werden, denn ein solcher totaler Gravitationskollaps findet nur bei Sternen statt, deren kollabierende Materiemenge mehr als dreimal so groß ist wie die Masse unserer Sonne. Bei leichteren Sternen halten noch die inneratomaren Kernkräfte der Gravitationswirkung stand, so dass sich diese masseärmeren Sonnen *nur* zu so genannten **weißen Zwergen** oder zu **Neutronensternen** verdichten. Allerdings sind auch schon diese Gebilde so ungeheuerlich kompakt, dass uns jeder Vergleich fehlt. So ist ein Neutronenstern hundertbillionenmal dichter als Wasser, was der Dichte eines Atomkerns entspricht. Beim Schwarzen Loch wird jedoch auch diese allerletzte Barriere von der Schwerkraft durchbrochen und der Stern kollabiert vollständig; er wird theoretisch zur "Singularität" mit dem Volumen Null und unendlicher Dichte, die sich nicht mehr physikalisch beschreiben lässt.

Alle Körper, die einem Schwarzen Loch zu nahe kommen, unterliegen seiner extremen Gezeitenwirkung, die alles zerreißt und zunächst in eine **Akkretionsscheibe** aus Gas und Staub verwandelt. Wegen der starken Reibung in dieser Scheibe kommt es zur Emission großer Mengen elektromagnetischer Strahlung vom Röntgen- bis zum Infrarotbereich, bis die Materie schließlich vom Schwarzen Loch verschlungen wird. Wegen der extremen Gravitation schon im Umfeld eines Schwarzen Loches erleidet die von dort zu uns gelangende Strahlung eine starke **gravitative Rotverschiebung**. Diese wird, je dichter die Strahlungsquelle am Ereignishorizont liegt, immer stärker, bis die Wellenlänge der Strahlung direkt an der Schwarzschild-Oberfläche aus unserer Sicht unendlich wird und dort alle Uhren stehen bleiben.

Inzwischen weiß man, dass es unzählige Schwarze Löcher im All gibt. So beinhalten wohl fast alle Galaxienkerne riesige schwarze Löcher, wie auch unsere Milchstraße ein solches mit rund 400 Millionen Sonnenmassen bei Sagittarius A* beherbergt.

Peter Steffen