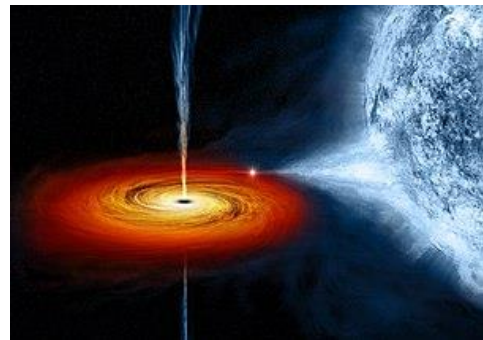


# Schwarze Löcher und das „Keine-Haare-Theorem“ (Teil 2 von 4)

## Schwarze Löcher – Exoten im All

Schwarze Löcher (SL) geistern immer mal wieder durch die Medien. Tatsächlich gehören sie zu den exotischsten Objekten im Weltraum. Hierbei handelt es sich um Gebilde, deren Masse im Vergleich zu anderen bekannten Himmelskörpern auf ein extrem kleines Volumen konzentriert ist, wobei sie die im Teil 1 beschriebenen Weißen Zwerge und Neutronensterne bei weitem übertreffen. In ihrer unmittelbaren Umgebung ist die Gravitationswirkung so stark, dass von dort nichts – nicht einmal Licht – entkommen kann. Anders gesagt: Die Entweichungsgeschwindigkeit müsste schneller als die Lichtgeschwindigkeit sein, was nach der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) unmöglich ist. Erste Voraussagen zur Existenz von SL wurden schon 1783 durch den britischen Naturforscher John Michell gemacht ([https://de.wikipedia.org/wiki/John\\_Michell](https://de.wikipedia.org/wiki/John_Michell)). Aber erst Albert Einstein schuf 1915 mit den Feldgleichungen der ART die theoretische Basis zur Vorhersage solcher Objekte. Allerdings hielt Einstein selbst zeitlebens die tatsächliche Existenz von SL für ein Hirngespinnst. Andere bedeutende Zeitgenossen teilten seine Meinung. Erst nach Einsteins Tod erfolgt 1972 der erste indirekte Nachweis eines SL ([https://de.wikipedia.org/wiki/Cygnus\\_X-1](https://de.wikipedia.org/wiki/Cygnus_X-1)). In diesem Fall handelt es sich um einen Riesenstern mit etwa 30-facher Sonnenmasse, von dem Masse auf ein SL mit etwa 20-facher Sonnenmasse übergeht (**Bild 2**).



**Bild 2** Künstlerische Darstellung von Cygnus X-1 [https://www.nasa.gov/sites/default/files/cyqx1\\_ill.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/cyqx1_ill.jpg)

SL sind von einem Ereignishorizont umgeben, aus dem es für jegliche Form von Materie kein Entkommen gibt. Der Ereignishorizont ist kein Gebilde im materiellen Sinne (wie z.B. die Oberfläche eines Sterns), sondern eine kugelförmige bzw. ellipsoide Grenzfläche in der Raumzeit (<https://de.wikipedia.org/wiki/Ereignishorizont>). Außerhalb des Ereignishorizontes verhält sich ein SL wie eine normale Masse, die von anderen Himmelskörpern umrundet werden kann. Durch Steven Hawking und Roger Penrose (Nobelpreis 2020) wurde im Rahmen der ART gezeigt, dass sich im Inneren eines SL eine Singularität bildet, d.h. ein Punkt mit einer unendlich großer Raumkrümmung bzw. Dichte ([https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes\\_Loch#Schwarze\\_L%C3%B6cher\\_in\\_der\\_allgemeinen\\_Relativit%C3%A4tstheorie](https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch#Schwarze_L%C3%B6cher_in_der_allgemeinen_Relativit%C3%A4tstheorie)). Solche abrupten Raumzeitänderungen mit unendlich hohen Dichten sind ein Zeichen dafür, dass hier die ART an ihre Grenzen stößt und die Gesetze der Quantentheorie wichtig werden. Es gibt zwar eine Reihe von Kandidaten, die eine Vereinigung von ART und Quantentheorie zu einer Theorie der Quantengravitation zum Ziel haben, aber bisher sind alle entsprechenden Versuche gescheitert (<https://de.wikipedia.org/wiki/Quantengravitation>), so dass das Innere des Schwarzes Loches noch seiner Beschreibung harret.

SL werden u.a. nach ihrer Masse eingeteilt. Relativ gut verstanden sind stellare SL. Sie können sich bilden, wenn ein Stern mit einer Anfangsmasse von mehr als drei Sonnenmassen zum Ende seines Lebens sämtliches Ausgangsmaterial für Kernfusionen aufgebraucht hat und in einer Supernova explodiert. Nach Abstoßen seiner Hülle fällt der Sternenrest unter dem Einfluss seiner Gravitation zu einem SL zusammen, soweit er noch mindestens 2,5 Sonnenmassen schwer ist ([https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes\\_Loch](https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch)).

Im Gegensatz dazu können supermassereiche SL millionen- bis milliardenmal so schwer wie unsere Sonne sein. Nach heutigem Erkenntnisstand befinden sich solche Monstergelbe im Zentrum der meisten Galaxien. Vielfach wurde beobachtet, dass supermassereiche SL

wachsen, indem sie Sterne, Gas- und Staubwolken verschlingen, die ihnen zu nahekommen. Inzwischen wurde auch nachgewiesen, dass solche Riesengebilde bereits 700 Millionen Jahre nach dem Urknall existierten. Ihre Entstehung im frühen Universum ist allerdings noch weitgehend ungeklärt.

Weitere Modifikationen von SL, über die man ebenfalls noch relativ wenig weiß, sind (<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/schwarzes-loch/429>):

- Mittelschwere SL mit einigen hundert bis wenigen tausend Sonnenmassen, die möglicherweise durch Sternenkollisionen und -verschmelzungen entstanden sind.
- Hypothetische Primordiale SL mit Massen im Bereich  $10^{12}$ .-  $10^{15}$  kg, die sich bereits beim Urknall oder kurz nach der Inflation (extrem rasche Expansion des Universums unmittelbar nach dem Urknall) gebildet haben könnten.
- Ebenfalls hypothetische Schwarze Mini- bzw. Mikrolöcher in der Größenordnung von Elementarteilchen mit sehr kurzer Lebensdauer. Die Suche nach ihnen im weltweit größten Teilchenbeschleuniger LHC war bisher erfolglos.