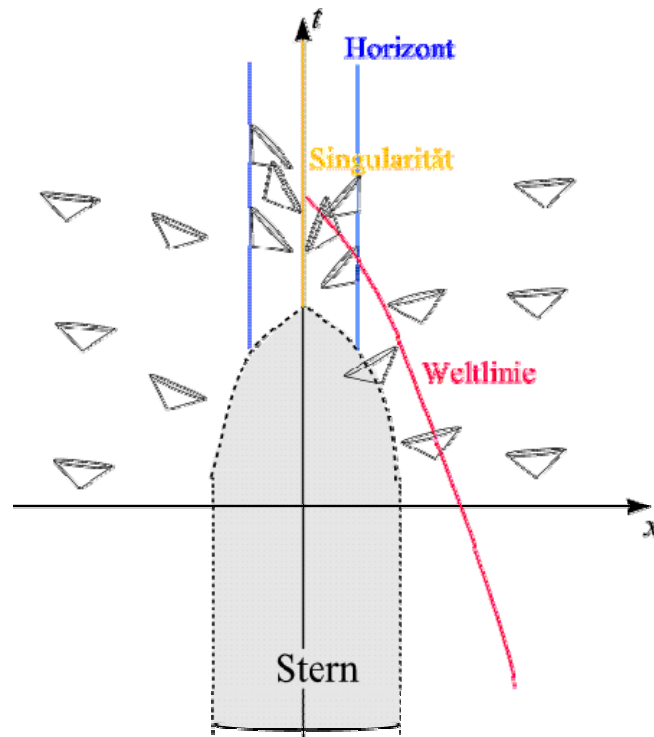


Was ist ein Schwarzes Loch?

Ein Stern, der mindestens zehnmals schwerer als die Sonne ist, wird irgendwann einmal unter der Last seiner eigenen Schwerkraft zusammenbrechen und *kollabieren*. Dann macht sich die Krümmung der Raumzeit in spektakulärer Weise bemerkbar.

In einem Raumzeit-Diagramm können wir uns die Krümmung der Raumzeit als ein Kippen der Lichtkegel vorstellen. Je näher ein Raumzeitpunkt dem Mittelpunkt des Sterns ist, umso stärker neigt sich der dortige Lichtkegel dem Stern zu. Während der Stern in sich zusammenbricht und immer kleiner und dichter wird, werden die Lichtkegel an seiner Oberfläche immer stärker gekippt.



In diesem zweidimensionalen Modell bilden sich schließlich zwei Linien (im Diagramm senkrecht) aus, die die Raumzeit in zwei Teile teilen. Diese Linien werden gemeinsam als **Ereignishorizont** bezeichnet. Was auch immer in das Gebiet der Raumzeit *zwischen* ihnen geraten ist, kann nicht wieder heraus, da die Lichtkegel in diesem Bereich der Raumzeit nach innen weisen.

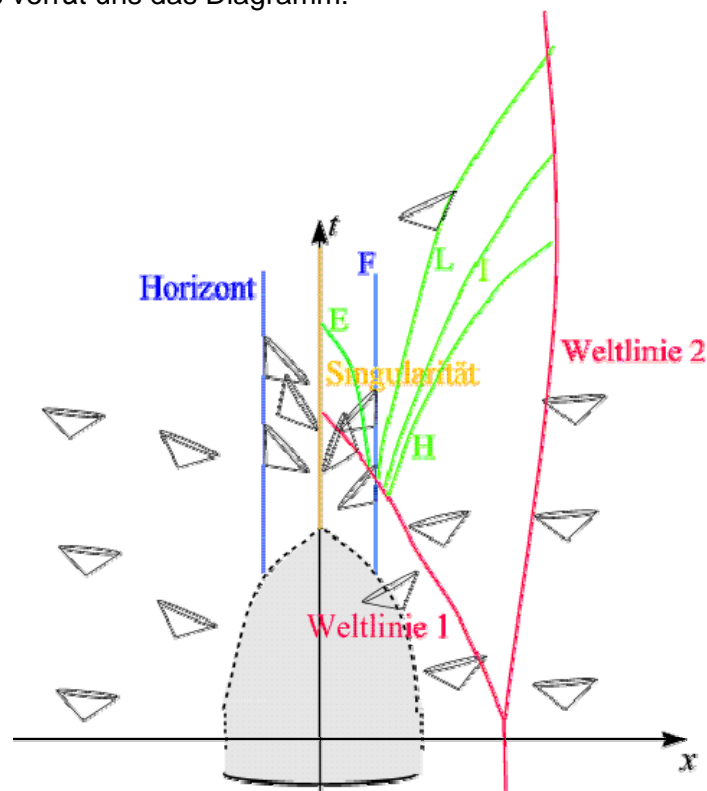
Davon ist auch der Stern selbst betroffen. (Seine Materie ist im obigen Diagramm grau unterlegt). Es bleibt ihm nichts anderes übrig, als immer weiter zu kollabieren. Nichts, kein noch so starker Druck und keine Materieform der Welt, kann den Kollaps aufhalten, *da die Außenwelt nicht mehr in der Zukunft des Sterns liegt*. Er stürzt zuletzt zu einem Punkt unendlicher Dichte zusammen, der so genannten **Singularität**.

Was zurück bleibt, nennen wir ein **Schwarzes Loch**. Auch ein Reisender (siehe eingezeichnete Weltlinie), der einmal den Ereignishorizont überquert hat, ist gefangen und wird nach einer für ihn endlichen Zeit in die Singularität stürzen. Und auch das Licht kann nicht aus dem Raum hinter dem Ereignishorizont entweichen – das ist der Grund, warum wir ein Schwarzes Loch schwarz nennen. Zu versuchen, aus dem Schwarzen Loch wieder herauszukommen, würde bedeuten, das Licht überholen zu wollen!

Dem Diagramm können wir einige ungewöhnliche Eigenschaften von Schwarzen Löchern entnehmen. So sind die beiden (im Diagramm senkrechten) Linien, die den Ereignishorizont bilden, die Weltlinien von Lichtstrahlen, da sie tangential zu den Lichtkegeln sind. Der Horizont ist daher kein statisches Gebilde, sondern gewissermaßen eine Sphäre, die mit Lichtgeschwindigkeit dem Innenbereich zu entfliehen versucht, ihm aber dennoch nicht entkommt.

In welche Richtung vergeht in unserem Diagramm eigentlich die Zeit? Dazu müssen wir nur die Lichtkegel betrachten. Ihre Orientierung gibt die „Zeitrichtung“ an. Außerhalb des Schwarzen Lochs vergeht die Zeit „nach oben“ (genauso wie in den Raumzeit-Diagrammen der Speziellen Relativitätstheorie). Innerhalb des Schwarzen Lochs jedoch haben Zeit und Raum ihre Rollen vertauscht: Was wir für den Raum gehalten haben – dargestellt als Koordinate x – wird innerhalb des Horizonts zur Zeit, und was wir für die Zeit gehalten haben – dargestellt als Koordinate t – wird innerhalb des Horizonts zum Raum.

Wie sehen die in der Außenwelt verbliebenen Beobachter einen in das Schwarze Loch fallenden Reisenden? Auch das verrät uns das Diagramm:



Nehmen wir an, ein Reisender (Weltlinie 1) schickt beim Überqueren des Ereignishorizonts den Funkspruch „HILFE“ in die Außenwelt (Linien mit Buchstaben). Vor dem Erreichen des Horizonts gelingt es ihm, die Buchstaben „HIL“ zu sagen, „F“ kommt genau beim Überqueren und „E“ sagt er bereits hinter dem Horizont. Wir Außenstehende (Weltlinie 2) werden vom „F“ (das, genau genommen, immerzu entlang des Horizonts in das Schwarze Loch fällt) und vom „E“ (das in die Singularität stürzen muss) nichts erfahren. Auch sein „HIL“ werden wir in die Länge gedehnt hören, d. h. die Frequenz des Funkspruchs wird immer kleiner. Es muss so ähnlich klingen, wie wenn man einen Staubsauger abschaltet. Für den Kollaps des ursprünglichen Sterns gilt natürlich das Gleiche: Er wird langsam verglimmen und schließlich schwarz, d. h. für uns unsichtbar werden. Was wir danach noch sehen mögen, sind die „Hilferufe“ von Teilchen, die in das Schwarze Loch fallen, kurz bevor sie hinter dem Horizont verschwinden. Astrophysiker registrieren diese „Hilferufe“ als *Röntgenstrahlung* mit ganz bestimmten Eigenschaften, die ihnen dazu dient, *Kandidaten für Schwarze Löcher zu orten*.

Ein Schwarzes Loch ist also ein Bereich der Raumzeit, der nach dem totalen Gravitationskollaps eines Himmelskörpers übrig bleibt und von dem nichts mehr in die Außenwelt zurückkehren kann. Der *Grund*, warum nichts mehr in die Außenwelt zurückkehren kann, ist *nicht*, dass die dazu aufgewandten Kräfte zu klein wären, sondern die bestimmte Art und Weise, in der die Raumzeit *gekrümmt* ist. Die Lichtkegel sind im Schwarzen Loch so stark gekippt, dass die Außenwelt *nicht mehr zur Zukunft des Innenbereichs gehört*.