

Informationen zum Programm „blackhole.exe“

Matthias Borhardt, 2021

Das Computerprogramm „blackhole.exe“¹ berechnet auf Grundlage der Allgemeinen Relativitätstheorie die Bahnkurven von Photonen, die in Richtung des Schwarzen Lochs ausgesendet werden². Verfolgt man die Lichtwege wieder rückwärts, lässt sich ermitteln, welches Licht beim Beobachter ankommt und was er vom Schwarzen Loch und dessen Umgebung wahrnehmen wird.

Mithilfe der Simulation lässt sich zeigen, dass Photonen, die das Schwarze Loch in einem ganz bestimmten Abstand passieren, auf eine geschlossene Kreisbahn gezwungen werden. Dies ist der Photonen-Orbit, der auch *knife-edge-orbit* („auf Messers Schneide“) genannt wird. Lichtstrahlen, die geringfügig weiter entfernt laufen, werden abgelenkt, ändern ihre Richtung und entfernen sich vom Schwarzen Loch. Photonen, die einen geringeren Stoßparameter aufweisen, stürzen jedoch in das Schwarze Loch. Der Stoßparameter, der zum Photonen-Orbit führt, definiert den sogenannten Schatten des Schwarzen Lochs. Somit spielen bei der Analyse der Lichtwege drei Radien eine wichtige Rolle – der **Schwarzschildradius** (Ereignishorizont), der Radius des **Photonen-Orbits** und der **Schattenradius**.

Es gibt noch einen vierten Radius, der zu beachten ist: Das ist der innere Rand der Akkretionsscheibe. Dieser Rand kann aus physikalischen Gründen³ niemals näher als drei Schwarzschildradien sein ($r_{\text{innen}} = 3 \cdot R_S$). Innerhalb dieser verbotenen Zone ist der Materierung nämlich nicht mehr stabil. Wenn wir nun aus großer Entfernung auf die Kante der Akkretionsscheibe blicken, erscheint uns der Ring merkwürdigerweise komplett verbogen. Es entstehen die typischen Bilder von Schwarzen Löchern, so, wie sie im Kinofilm *Interstellar* simuliert wurden oder so, wie auf der unteren Abbildung dargestellt. Die Entstehung dieser verzerrten Bilder lässt sich mit der Computersimulation „blackhole.exe“ nachvollziehen. Schalten Sie dazu die Akkretionsscheibe auf „sichtbar“ und schicken Sie (automatisch) parallele Lichtstrahlen zum Schwarzen Loch. Wählen Sie danach „Lichtweg rückwärts“ und machen Sie sich klar, welche Lichtstrahlen beim Beobachter ankommen.

Für die vier oben genannten Radien gelten übrigens die folgenden Beziehungen:

- Schwarzschildradius: $R_S = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$
- Photonen-Orbit: $r_{\text{Photon}} = 1,5 \cdot R_S$
- Schattenradius: $r_{\text{Photon}} = \frac{\sqrt{27}}{2} \cdot R_S \approx 2,6 \cdot R_S$
- Innerer Rand der Scheibe: $r_{\text{innen}} = 3 \cdot R_S$

In der untersten Abbildung sind die vier Radien gut zu erkennen.

¹ http://mabo-physik.de/das_galaktische_zentrum.html

² Die Berechnungen beruhen auf der Schwarzschildmetrik für nichtrotierende, stationäre Schwarze Löcher

³ Hierzu müsste man den Formalismus der Allgemeinen Relativitätstheorie verwenden, was zu recht komplexen Herleitungen führt

Das Schwarze Loch erscheint dem Beobachter also nicht in der Größe des Schwarzschildradius. Vielmehr sehen wir den **Schatten des Schwarzen Lochs**, der etwa 2,6-mal so groß ist wie der Schwarzschildradius.

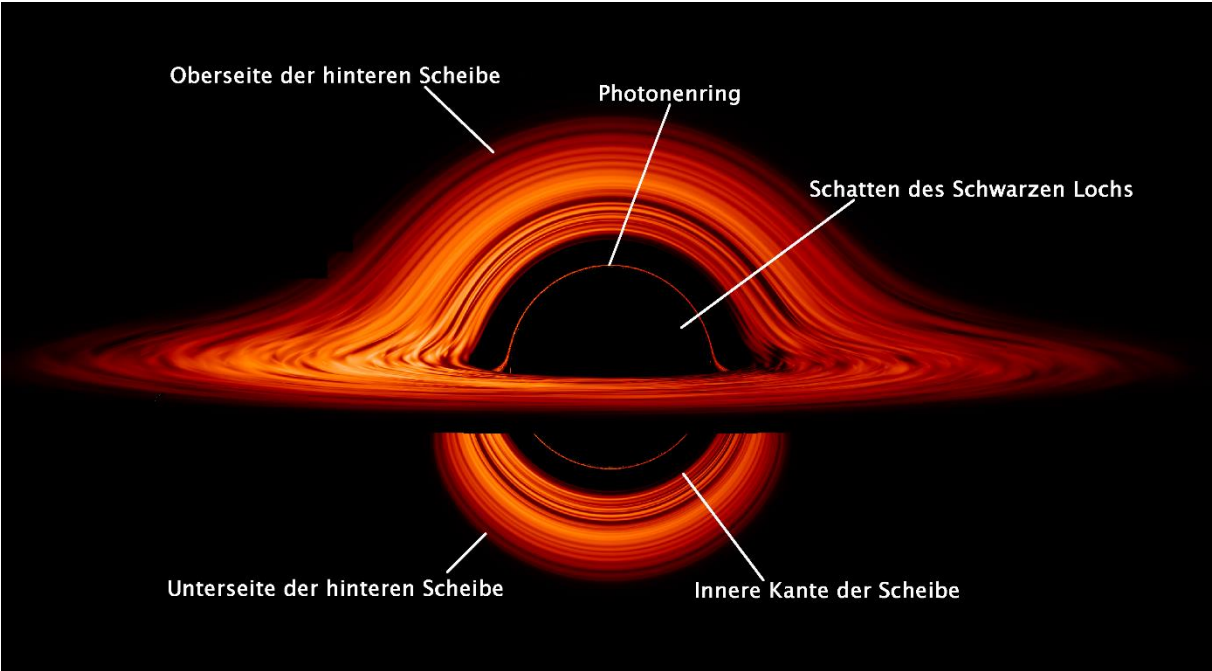


Abbildung: NASA's Goddard Space Flight Center/Jeremy Schnittman

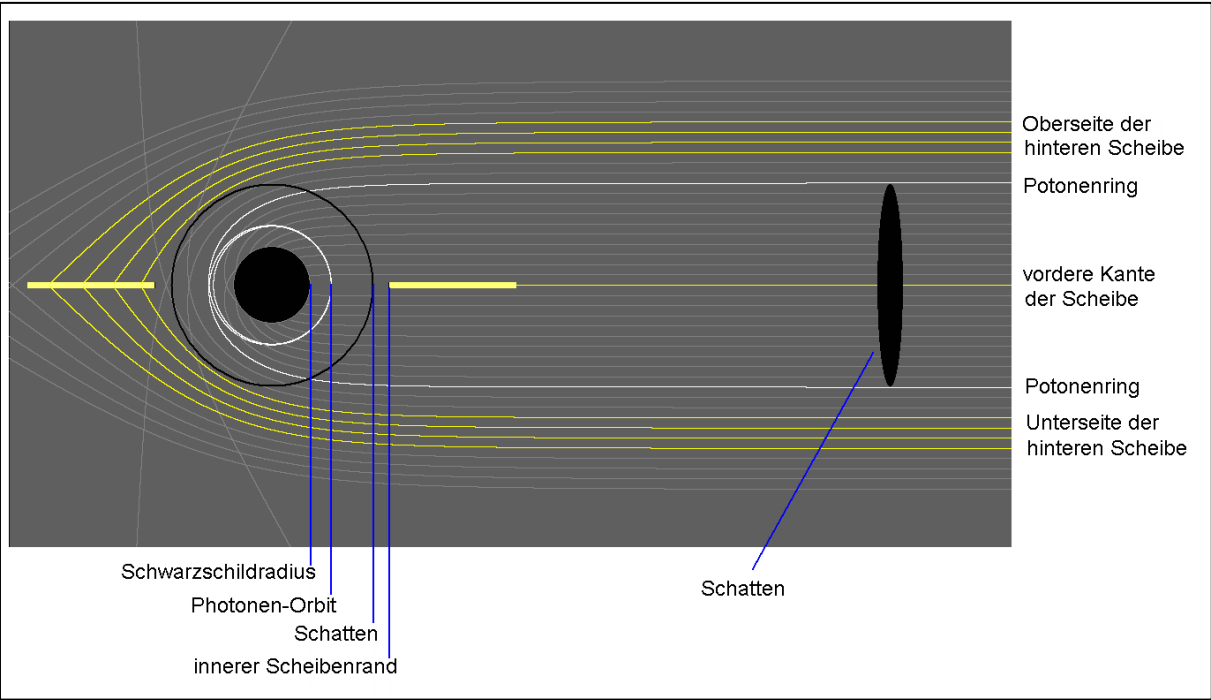


Abbildung: Matthias Borchart