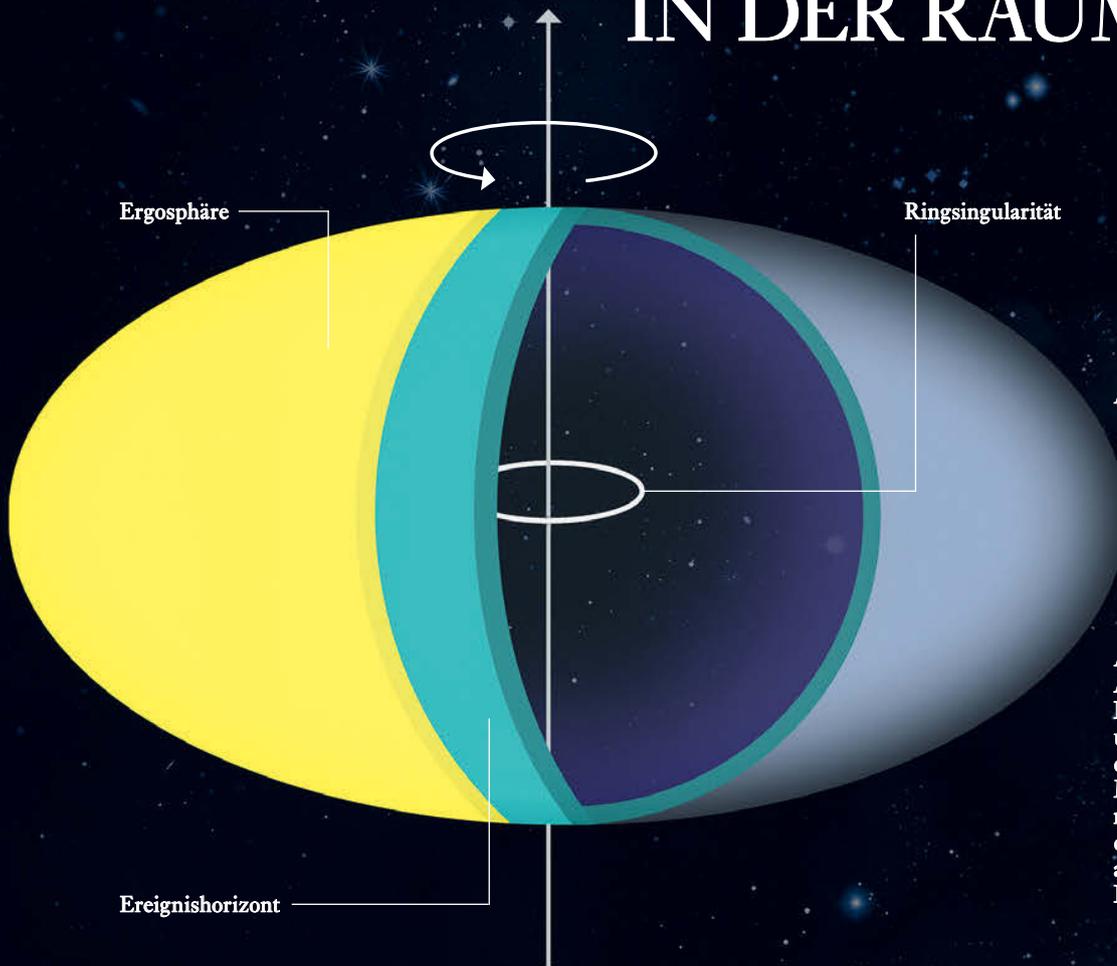


# SCHWARZE LÖCHER – FALLEN IN DER RAUMZEIT



Abstrakte Mathematik bestimmt den strukturellen Aufbau eines rotierenden schwarzen Lochs. Niemand kann sich etwa vorstellen, dass eine *Ringsingularität* keine Ausdehnung hat. Anschaulicher ist der *Ereignishorizont*: Er definiert Größe und Grenze, jenseits derer es für Licht oder Materie kein Zurück mehr gibt. Innerhalb der *Ergosphäre* muss alles mit dem schwarzen Loch mitrotieren.

46



Unglaubliches Gedankenexperiment: Presst man die Erde auf die Größe einer Kirsche zusammen, verwandelt man sie in ein schwarzes Loch.

## THEORIE

Im Jahr 1783 denkt John Michell über „Dunkle Sterne“ nach, die wegen ihrer Gravitation kein Licht aussenden.

In seiner allgemeinen Relativitätstheorie schafft Albert Einstein 1915 die mathematischen Grundlagen für derartige Objekte. Karl Schwarzschild beschreibt ein Jahr später die Geometrie eines statischen schwarzen Lochs.

## BEOBACHTUNG

Anfang der 1970er-Jahre wird das erste stellare schwarze Loch (Cygnus X-1) als Teil eines Doppelsternsystems entdeckt. Dieser indirekte Nachweis gelingt mit einem Röntgensatelliten. Der registriert energiereiche Strahlung aus der heißen Gasscheibe (Akkretionsscheibe), die das schwarze Loch umgibt.

Die Gruppen um Andrea Ghez (University of California, Los Angeles) und Reinhard Genzel (Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik) beobachten seit den 1990er-Jahren Sternbahnen im Zentrum unserer Milchstraße und schließen daraus auf die Existenz eines schwarzen Lochs von 4,3 Millionen Sonnenmassen. Ghez und Genzel erhalten dafür den Nobelpreis für Physik 2020.

VERSCHIEDENE ARTEN

Je nach Masse unterscheidet man vier Typen von schwarzen Löchern:

**Supermassereiche schwarze Löcher**  
 Masse: zwischen einigen Millionen und Milliarden Sonnenmassen  
 Herkunft: Verschmelzung von vielen schwarzen Löchern mit mehreren Hundert Sonnenmassen, Kollisionen von Galaxien oder Aufsammeln von Masse aus der Umgebung

**Stellare schwarze Löcher**  
 Masse: zwischen 3 und 65 Sonnenmassen  
 Herkunft: Supernova (Wie schwerere schwarze Löcher bis 120 Sonnenmassen entstehen, ist noch unklar)

**Primordiale schwarze Löcher**  
 Masse: entspricht etwa der des Erdmondes  
 Herkunft: Urknall

**Mittelschwere schwarze Löcher**  
 Masse: zwischen 120 und 100 000 Sonnenmassen  
 Herkunft: Kollision von stellaren schwarzen Löchern, Verschmelzung massereicher Sterne oder Urknall

In den 1960er-Jahren erlebt die Relativitätstheorie durch neue Beobachtungen eine Renaissance. Roger Penrose (Physik-Nobelpreis 2020) und Stephen Hawking zeigen, dass es in einem schwarzen Loch eine Singularität unendlicher Dichte sowie eine unendliche Krümmung der Raumzeit gibt.

Am 14. September 2015 gehen zum ersten Mal die von Einstein prognostizierten Gravitationswellen ins Netz. Sie stammen von der Verschmelzung zweier schwarzer Löcher mit 29 und 36 Sonnenmassen.

Im Jahr 2019 veröffentlichten Forschende das erste Bild eines schwarzen Lochs. Es entstand mit dem Event Horizon Telescope, einem Netzwerk aus acht über den halben Globus verteilten Radioobservatorien, und zeigt das Massemonster im Herzen der Galaxie M87.

BILDER: ISTOCK; NASA, ESA, AND J. BAÑO ETZ AND D. MILLER/JEVIĆ (PURDUE UNIVERSITY); ISTOCK; ISTOCK; S. OSSOKIN, E. A. BUGONANO (MPI FÜR GRAVITATIONSPHYSIK); SIMULATING EXTREME SPACETIME PROJEKT, D. STEINHÄUSER (AIRBORNE HYDRO MAPPING GMBH); EHT-KOLLABORATION (VON OBEN NACH UNTEN)