



# Schwarze Löcher und das dunkelste Geheimnis der Milchstraße

In diesem Jahr ehrt der Nobelpreis für Physik Entdeckungen rund um eines der exotischsten Phänomene des Universums: das Schwarze Loch. Roger Penrose wies nach, dass sich die Bildung Schwarzer Löcher aus der Allgemeinen Relativitätstheorie ableiten lässt. Reinhard Genzel und Andrea Ghez entdeckten, dass ein unsichtbares und extrem massereiches Objekt die Umlaufbahnen der Sterne im Zentrum unserer Galaxie, der Milchstraße, bestimmt. Die einzige derzeit bekannte Erklärung dafür ist ein supermassives Schwarzes Loch.

**Roger Penrose** nutzte geniale mathematische Methoden bei der Erforschung der Allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein. In seiner Theorie, die zur Basis der gesamten modernen Forschung zum Universum wurde, beschreibt er, wie die Schwerkraft eine vierdimensionale Raumzeit krümmt. Wenn eine riesige Masse auf ein winziges Volumen komprimiert wird, kollabiert die Materie und bildet ein Schwarzes Loch – ein Raumzeit-Monster, das alles verschlingt, was eindringt. Nichts, nicht einmal Licht, kann entweichen.

Albert Einstein glaubte nicht an die Existenz Schwarzer Löcher. Doch im Januar 1965, zehn Jahre nach Einsteins Tod, wies Penrose nach, dass sich Schwarze Löcher bilden können. Im Zentrum jedes Schwarzen Lochs verbirgt sich eine Singularität, in der alle bekannten Naturgesetze außer Kraft gesetzt sind. Penroses revolutionärer Artikel gilt bis heute als wichtigster Beitrag zur Allgemeinen

Relativitätstheorie seit Einstein. **Reinhard Genzel** und **Andrea Ghez** leiten je ein Team von Astronominnen und Astronomen, die sich seit Anfang der 1990er Jahre auf eine Region im Herzen unserer Galaxie konzentrieren, die als Sagittarius A\* bezeichnet wird. Zunehmend präzise haben sie die Umlaufbahnen der hellsten Sterne kartiert, die dem Zentrum am nächsten sind. Beide Forschungsgruppen fanden etwas, das sowohl unsichtbar als auch massereich ist und dieses Wirrwarr aus Sternen dazu bringt, mit unvorstellbarer Geschwindigkeit im Kreis zu wirbeln: Ungefähr vier Millionen Sonnenmassen konzentriert in einer Region, die nicht größer ist als unser Sonnensystem.

Die Pionierarbeit führte zu neuen Generationen von präzisen Tests der allgemeinen Relativitätstheorie und ihrer faszinierendsten Vorhersagen. Diese Messungen könnten Anhaltspunkte für neue theoretische Erkenntnisse liefern, denn das Universum hält noch viele Geheimnisse bereit, die es zu entdecken gilt.

## Roger Penrose

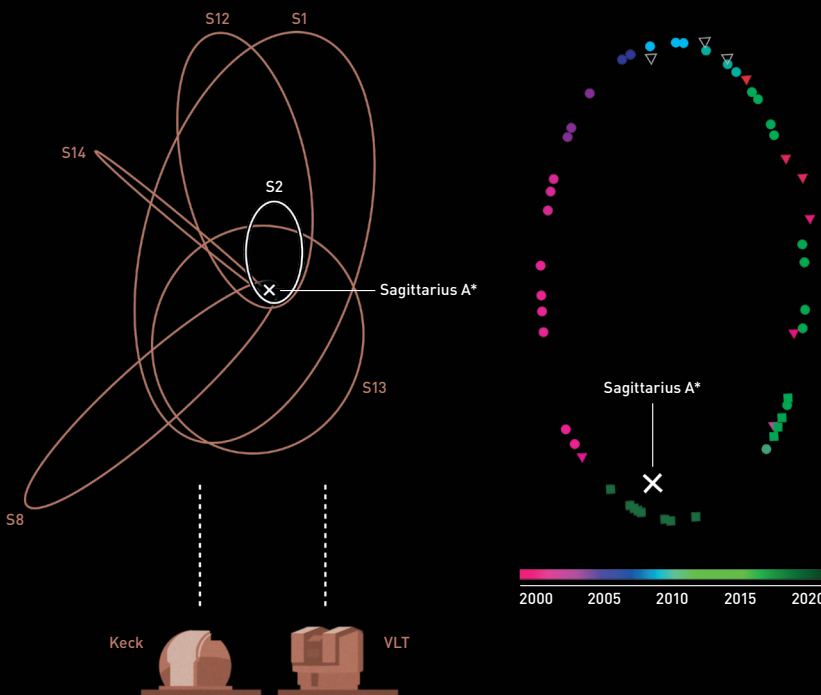
Geboren 1931 im Vereinigten Königreich. Professor an der University of Oxford, Vereinigtes Königreich.

## Reinhard Genzel

Geboren 1952 in Deutschland. Direktor am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Deutschland, und Professor an der University of California, Berkeley, USA.

## Andrea Ghez

Geboren 1965 in den USA. Professorin an der University of California, Los Angeles, USA.



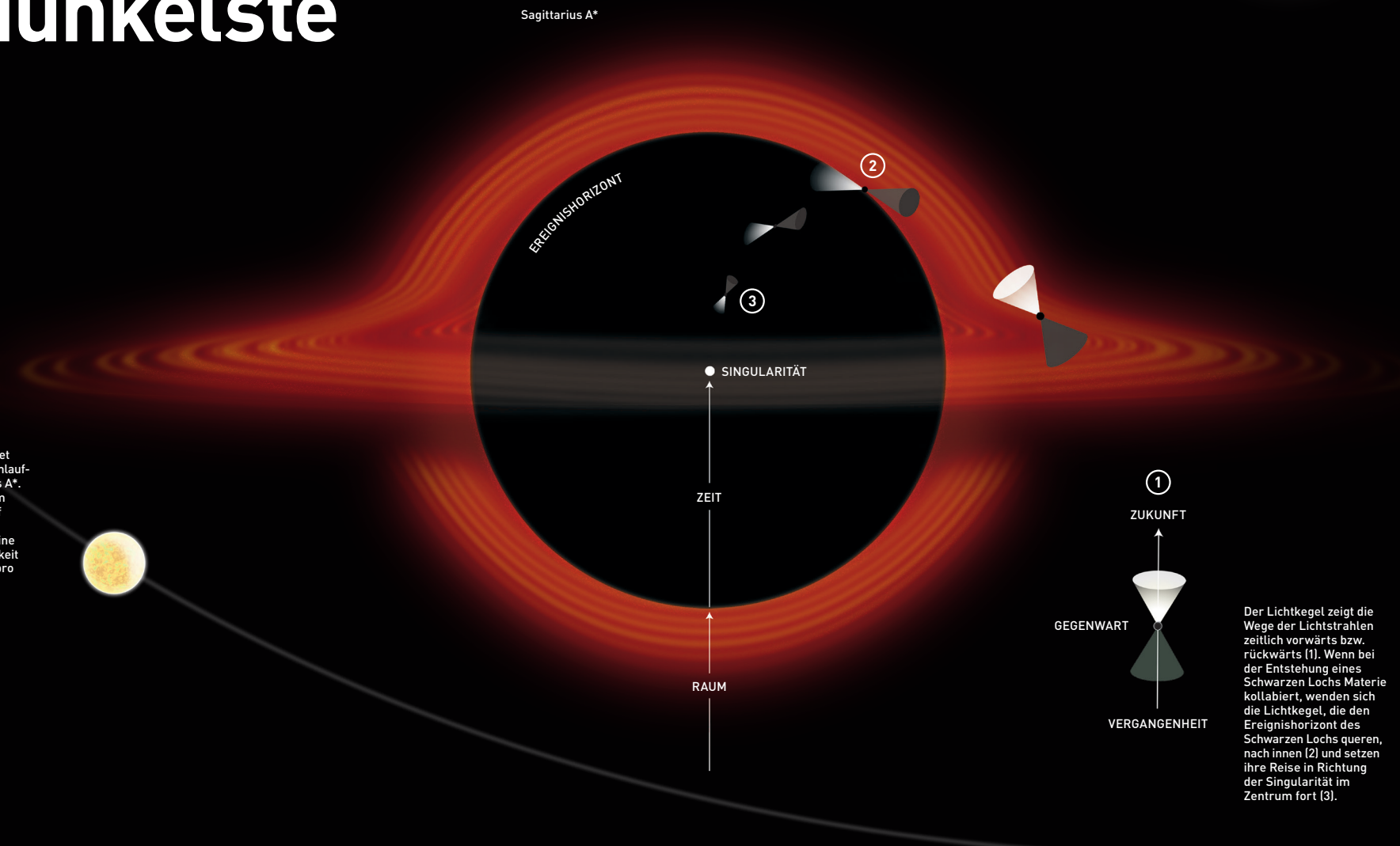
Der Stern S2 vollendet alle 16 Jahre eine Umlaufbahn um Sagittarius A\*. Dabei kommt er dem Schwarzen Loch auf nur 17 Lichtstunden nahe und erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von etwa 7.600 km pro Sekunde.

## Die Bahnen der Sterne enthüllen das Schwarze Loch

Seit dreißig Jahren kartieren Reinhard Genzel und Andrea Ghez mit ihren Forschungsgruppen die Umlaufbahnen der Sterne um Sagittarius A\*, eine starke Quelle von Radiowellen im Zentrum unserer Galaxie, der Milchstraße. Um durch die Erdatmosphäre und die riesigen Wolken aus interstellarem Gas und Staub hindurchsehen zu können, entwickelten sie neue Methoden und bauten Instrumente für die größten Teleskope der Welt – das VLT in Chile (Genzel) und das Keck Observatorium auf Hawaii (Ghez). Mit empfindlicheren Lichtsensoren und verbesserter Optik konnte die Bildauflösung um mehr als ein Tausendfaches verbessert werden. So bestimmen sie die Positionen der Sterne Nacht für Nacht noch exakter. Die elliptischen Umlaufbahnen der Sterne lassen auf den Einfluss eines unsichtbaren massereichen Objekts schließen – der bislang überzeugendste Beweis für ein supermassives schwarzes Loch dort.

## Ein Schwarzes Loch

Die Anziehungskraft eines Schwarzen Lochs ist so stark, dass es alles einfängt, was seine Grenze – den Ereignishorizont – überquert. Das Schwarze Loch bleibt für immer in seinem Ereignishorizont verborgen. Je größer die Masse, desto größer das Schwarze Loch. Die Masse der Erde ergäbe nur ein erbsengroßes Schwarzes Loch. Am Ereignishorizont tauschen Raum und Zeit in gewisser Weise ihre Rollen: Raum wird zu Zeit. Alle Objekte, die sich innerhalb des Ereignishorizonts befinden, werden im Fluß der Zeit zur Singularität im Innern des Schwarzen Lochs transportiert, wo die Dichte unendlich ist und die Zeit endet. Um das Schwarze Loch rotiert eine intensiv strahlende Scheibe. Sie besteht aus heißem Gas und geladenen Teilchen, die das schwarze Loch dabei ist zu verschlucken. Ihre Rückseite ist auch von vorne sichtbar, da die starke Gravitation die Raumzeit verzerrt und die Lichtstrahlen ablenkt.



Der Lichtkegel zeigt die Wege der Lichtstrahlen zeitlich vorwärts bzw. rückwärts (1). Wenn bei der Entstehung eines Schwarzen Lochs Materie kollabiert, wenden sich die Lichtkegel, die den Ereignishorizont des Schwarzen Lochs queren, nach innen (2) und setzen ihre Reise in Richtung der Singularität im Zentrum fort (3).



**LERNEN SIE MEHR ÜBER DIE NOBELPREISE UNTER WWW.KVA.SE/EN** Weitere Informationen zum Nobelpreis für Physik 2020 finden Sie auf [www.kva.se/nobelphysics2020](http://www.kva.se/nobelphysics2020) sowie unter [www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org). Die angegebenen Seiten enthalten detaillierte Informationen zu den Laureaten und deren Forschung sowie Empfehlungen zu weiterführender Literatur und Videos. Alle weiterführenden Informationen sind auf Englisch.

**Redaktion:** Ulf Danielsson, Ariel Goobar, David Haviland und Gunnar Ingelman, Nobelkomitee für Physik, Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften; Joanna Rose, Wissenschaftsredakteurin; Sara Gustafsson, Redakteurin und Lovisa Nycander, Nobel Assistent, Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften **Grafikdesign:** IVY Agency AB **Illustrationen:** Johan Järnstedt/Infographics.se

Druck und Vertrieb mit freundlicher Unterstützung von **VOLVO**

Realisierung der deutschen Version durch **LINDAU NOBEL LAUREATE MEETINGS**

Druck und Vertrieb der deutschen Version gefördert von der **CHRISTA UND HERMANN LAUR - STIFTUNG**

© **Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften** Box 50005, SE-104 05 Stockholm, Schweden +46 8 673 95 00 [kva.se](http://kva.se), [www.kva.se](http://www.kva.se) Poster sind online verfügbar unter [www.mediatheque.lindau-nobel.org/publications](http://www.mediatheque.lindau-nobel.org/publications) und [www.kva.se/nobelposters](http://www.kva.se/nobelposters)