



# SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

**Auszug aus:**

*Das Schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße*

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](http://School-Scout.de)



## II.H.7

### Astronomie

# Das Schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße

Ein Beitrag von Matthias Borchardt

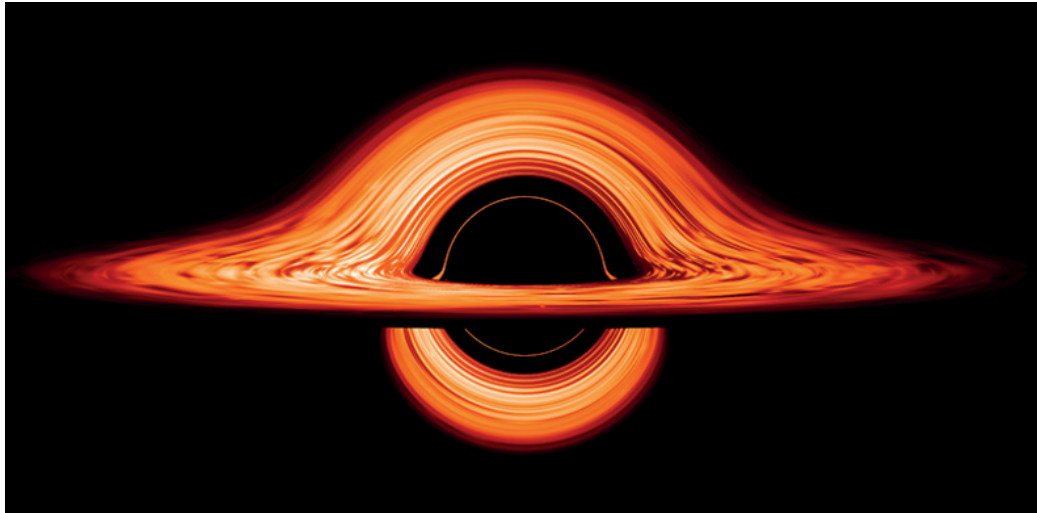


Foto: NASA GSFC/J. Schnittman

Im Zentrum unserer Heimatgalaxie befindet sich ein supermassives Schwarzes Loch, das mehrere Millionen Sonnenmassen auf die Waage bringt. Für den Nachweis und die Erforschung dieses Schwerkraftmonsters wurden dem deutschen Astrophysiker Reinhard Genzel der Nobelpreis für Physik 2020 verliehen. Dieser Beitrag nähert sich dieser Thematik mit kontextorientierten Arbeitsblätter zur Physik von Schwarzen Löchern. Insbesondere bestimmen die Lernenden mit Hilfe des Orbits des Sterns S2 die Masse, den Durchmesser und das Aussehen des Schwarzen Lochs im Zentrum der Milchstraße.

---

#### KOMPETENZPROFIL

<b>Klassenstufe:</b>	11–13
<b>Dauer:</b>	6–10 Unterrichtsstunden
<b>Kompetenzen:</b>	Physikalische Informationen aus Sachtexten entnehmen und mit bekanntem Wissen verknüpfen, Herleiten von Formeln, Anwenden von Gesetzmäßigkeiten, Rechenwege dokumentieren, Berechnungen durchführen
<b>Thematische Bereiche:</b>	Milchstraße, Bewegung von Himmelskörpern, Gravitationsgesetz, Schwarzschildradius, Gezeitenbeschleunigung, relativistische Effekte
<b>Medien:</b>	Computersimulationen

---

## Didaktisch-methodische Hinweise

### Einordnung des Themas

Themen aus der Astronomie, speziell wenn es dabei um Schwarze Löcher geht, stoßen bei Schülerinnen und Schülern in der Regel auf großes Interesse. Der Mechanik-Unterricht der Oberstufe bietet gute Möglichkeiten, diese Inhalte aufzugreifen – insbesondere dann, wenn es im Unterricht um Fragen zur Gravitation geht.

Dieser Beitrag möchte dazu einen Vorschlag machen. Die physikalischen und astronomischen Erkenntnisse bez. des Schwarzen Lochs im galaktischen Zentrum sind wissenschaftlich topaktuell. So konnte die Existenz eines zentralen supermassiven Schwarzen Lochs durch die exakte Vermessung der Stern-Orbits um das galaktische Zentrum eindeutig belegt werden. Dies ermöglichte zudem eine genaue Massenbestimmung des Schwerkraftmonsters.

Für die Forschungen auf diesem Gebiet wurde dem deutschen Physiker **Reinhard Genzel** und der amerikanischen Physikerin **Andrea Ghez** der **Nobelpreis für Physik 2020** zugesprochen. Die andere Hälfte des Nobelpreises 2020 ging an den theoretischen Astrophysiker **Roger Penrose** aus Großbritannien für seine grundlegenden Arbeiten zur Allgemeinen Relativitätstheorie und Schwarzen Löchern. Die Auszeichnung zeigt zudem, auf welchem hohem Niveau astronomische Forschung auch in Deutschland seit vielen Jahrzehnten betrieben wird.

Somit bieten die Materialien dieses Beitrags einen aktuellen und stark kontextorientierten Zugang zur Thematik und eröffnen gleichzeitig gute Möglichkeiten eines differenzierenden Einsatzes der Materialien. Die Tatsache, dass von dieser Thematik eine ganz besondere Faszination ausgeht, kann dem Mechanik-Unterricht, der nicht selten von den Lernenden als eher trocken und wenig attraktiv empfunden wird, neue und reizvolle Impulse verleihen.

### Voraussetzungen der Lerngruppe

So könnten in einem Physikkurs die Arbeitsblätter **M 1** bis **M 6** eingesetzt werden, wenn das Gravitationsgesetz von Newton sowie Bewegungen um einen Zentralkörper (Kegelschnittbahnen, Fluchtgeschwindigkeiten) im Unterricht behandelt werden.

Wenn es die Zeit erlaubt, das Interesse im Kurs vorhanden ist und besonders leistungsstarke Kurs Teilnehmer angetroffen werden, bietet sich auch die Behandlung der übrigen Materialien an. Diese könnten aber auch gut als Referatsthemen oder als Einstieg in eine Facharbeit zur Verfügung gestellt werden. In besonderem Maße sind alle Materialien natürlich in reinen Astronomiekursen, Arbeitsgemeinschaften oder Projektkursen einsetzbar.

### Zum Aufbau der Reihe

Die Bewegung des Sterns S2 um das Schwarze Loch SgrA\* im galaktischen Zentrum ist über die letzten 20 Jahre hinweg durch die Vielzahl an astrometrischen Messungen (Infrarotastronomie) besonders gut erforscht worden.

Die scheinbare Ellipse, also die Bahn des Sterns, so, wie wir sie von der Erde aus wahrnehmen können, ist daher gut bekannt. Eine kleine Computersimulation, die vom Verfasser programmiert wurde, hilft dabei, die Dynamik dieser Bewegung anschaulich darzustellen. So werden die unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Sterns auf seiner 16 Jahre dauernden Umrundung des Schwarzen Lochs in einer Art Zeitrafferdarstellung besonders deutlich.

Leider hilft die Abbildung der scheinbaren Ellipsenbahn bei der Berechnung der Masse von SgrA\* direkt kaum weiter, denn das dritte Keplergesetz verlangt die Eingabe der großen Halbachse der wahren Ellipsenbahn. Da sich diese nur mit großem mathematischem Aufwand aus der scheinbaren Bahn ableiten lässt, hilft auch hier ein Computerprogramm weiter, das eine Art Fitting einer Modellellipse an die gemessene Ellipse ermöglicht. Sollte Ihnen das als zu aufwendig erscheinen, besteht aber auch die Möglichkeit, die Abbildung der wahren Ellipse mit passendem Maßstab zu verwenden (Material **M 4**). So ist es den Lernenden ohne allzu großen Aufwand möglich, die Masse des Schwarzen Lochs mit schulüblichen Mitteln zu berechnen.

## Literatur

- **Kip Thorne:** *The science of Interstellar*, W.W. NORTON & CO; PANY, 2014  
Das Buch zum Film „Interstellar“. Die physikalischen Effekte im Film, vor allem die der Relativitätstheorie, werden anschaulich, gut illustriert und ohne Formeln vom Nobelpreisträger Kip Thorne erklärt.
- **E. F. Taylor, J. A. Wheeler:** *Exploring Black Holes*, Verlag: Addison Wesley Longman, 2000  
Einführung in die Allgemeine Relativitätstheorie, die ohne den Formalismus der Tensoralgebra auskommt.
- **GRAVITY Collaboration, R. Abuter et al.,** *A geometric distance measurement to the Galactic center black hole with 0.3% uncertainty*, A & A 625, L10 (2019)  
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935656> [letzter Abruf: 19.11.2020]
- **GRAVITY Collaboration, R. Abuter et al.,** *Detection of the gravitational redshift in the orbit of the star S2 near the Galactic centre massive black hole*, A & A, July 26, 2018  
<https://arxiv.org/abs/1807.09409> [letzter Abruf: 19.11.2020]

## Internetseiten

- [http://mabo-physik.de/das\\_galaktische\\_zentrum.html](http://mabo-physik.de/das_galaktische_zentrum.html) [letzter Abruf: 19.11.2020]  
Computersimulationen zu dieser Unterrichtseinheit
- <https://www.spektrum.de/news/am-ende-der-zeit/1779216> [letzter Abruf: 19.11.2020]  
Zur Vergabe des Nobelpreises 2020
- <https://www.astronews.com/news/artikel/2018/07/1807-036.shtml> [letzter Abruf: 19.11.2020]  
Informationen zur Umlaufbahn des Sterns S2 und zur Physik des Schwarzen Lochs im Zentrum der Milchstraße
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Galaktisches\\_Zentrum](https://de.wikipedia.org/wiki/Galaktisches_Zentrum) [letzter Abruf: 19.11.2020]  
<https://www.mpg.de/14675019/sternpraезession-nahe-dem-schwarzen-loch>  
[letzter Abruf: 19.11.2020]  
Informationen zum Stern S2 und seiner Bahn um das galaktische Zentrum

## Auf einen Blick

---

### 1./2. Stunde

**Thema** Aufbau und Eigenschaften der Milchstraße

**M 1** Eine Sterneninsel namens Galaxis

**M 2** Sternentanz ums Schwarzkraftmonster

**Benötigt:**  Internetzugang



---

### 3.–6. Stunde

**Thema** Eigenschaften des Schwarzen Lochs SgrA\*

**M 3** Die Masse des Schwarzen Lochs

**M 4** Die scheinbare und die wahre Ellipse

**M 5** Der Durchmesser des Schwarzen Lochs

**M 6** Wie sieht es aus – das Schwarze Loch?

**Benötigt:**  Internetzugang  
 Computersimulationen



---

### 7. Stunde

**Thema** Fallbewegungen in der Nähe des Schwarzen Lochs

**M 7** Rasante Kurvenfahrt ums Schwarze Loch

**M 8** Im freien Fall ins Schwarze Loch

**Benötigt:**  Internetzugang  
 Computersimulationen



---

### 8./9. Stunde

**Thema** Vorhersagen der Relativitätstheorien

**M 9** Albert Einstein auf dem Prüfstand

---

### 10. Stunde

**Thema** Herleitungen

**M 10** Wie kommt man denn auf diese Formeln?



# SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

**Auszug aus:**

*Das Schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße*

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](http://School-Scout.de)

