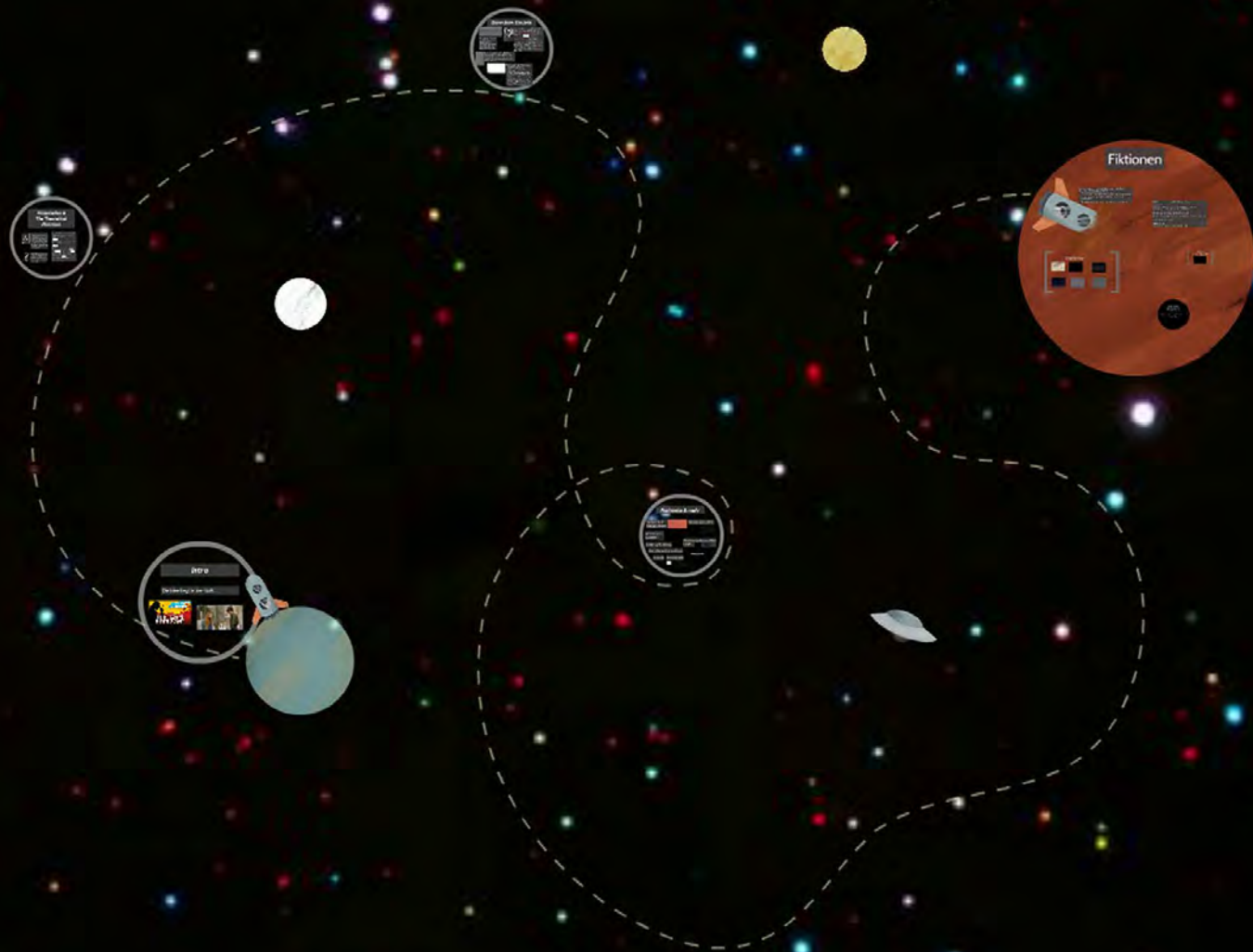


# Hinterm Horizont geht's weiter



Schwarze Löcher in Science & Fiction

*Tom Schramm, Freie Lauenburgische Akademie, 23. November 2017*

# Historisches & Theoretical Minimum



John Michell, 1784

... if the semi-diameter of a sphere of the same density with the sun were to exceed that of the sun in the proportion of 500 to 1, a body falling from an infinite height towards it, would have acquired at its surface a greater velocity than that of light, and consequently, supposing light to be attracted by the same force in proportion to its vis inertiae, with other bodies, all light emitted from such a body would be made to return towards it, by its own proper gravity.



Laplace, 1796

The gravitation attraction of a star with a diameter 250 times that of the Sun and comparable in density to the earth would be so great no light could escape from its surface. The largest bodies in the universe may thus be invisible by reason of their magnitude.

Idee: Lichtgeschwindigkeit  $c=299.792.458$  m/s konstant!

Fluchtgeschwindigkeit: Geschwindigkeit  $v$ , die ein Körper benötigt, um sich endgültig von der Erde zu lösen. Er hat dann die Energie

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$$

Ein Körper der Masse  $m$  hat auf der Oberfläche der Erde der Masse  $M$  die Lage- bzw. Gravitationsenergie

$$E_G = \frac{G \cdot M \cdot m}{r}$$

Für die Fluchtgeschwindigkeit muss dann  $E_{kin} = E_G$  gelten.

Also  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r}}$  oder nach  $r$  aufgelöst  $r = \frac{2 \cdot G \cdot M}{v^2}$

Für die Erde erhält man rund 11 km/s. Setzt man  $v=c$  erhält man einen Radius für eine Masse von der sich kein Licht mehr entfernen kann

$$r = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$$

Für die Erde ergibt sich ungefähr 1 cm, für die Sonne 3 km.

$G=6.673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/(\text{kg s}^2)$

# Minimum



John Michell, 1784

... if the semi-diameter of a sphere of the same density with the sun were to exceed that of the sun in the proportion of 500 to 1, a body falling from an infinite height towards it, would have acquired at its surface a greater velocity than that of light, and consequently, supposing light to be attracted by the same force in proportion to its vis inertiae, with other bodies, all light emitted from such a body would be made to return towards it, by its own proper gravity.



Laplace, 1796

The gravitation attraction of a star with a diameter 250 times that of the Sun and comparable in density to the earth would be so great no light could escape from its surface. The largest bodies in the universe may thus be invisible by reason of their magnitude.<sup>4</sup>

Idee: Lichtgeschwindigkeit  $c=299.792.458$  m/s konstant!

**Fluchtgeschwindigkeit:** Geschwindigkeit  $v$ , die ein Körper benötigt, um sich endgültig von der Erde zu lösen. Er hat dann die Energie

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Ein Körper der Masse  $m$  hat auf der Oberfläche der Erde der Masse  $M$  die Lage- bzw. Gravitationsenergie

$$E_G = \frac{G \cdot M \cdot m}{r}$$

Für die Fluchtgeschwindigkeit muss dann  $E_{kin} = E_G$  gelten.

Also  $v = \sqrt{\frac{2 \cdot GM}{r}}$  oder nach  $r$  aufgelöst  $r = \frac{2 \cdot GM}{v^2}$

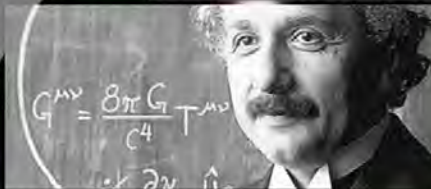
Für die Erde erhält man rund 11 km/s. Setzt man  $v=c$  erhält man einen Radius für eine Masse von der sich kein Licht mehr entfernen kann

$$r = \frac{2 \cdot GM}{c^2}$$

Für die Erde ergibt sich ungefähr 1 cm, für die Sonne 3 km.

$G=6.673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg s}^2)$

# Dann kam Einstein



Einstein interpretiert 1915 mit seinen Feldgleichungen die Gravitationskraft als einen Effekt der Raum-Zeit-Krümmung. Energie und Masse krümmen den Raum, der vorgibt wie die Massen sich bewegen.



Zur Überraschung Einsteins fand Karl Schwarzschild 1916 eine exakte Lösung der Feldgleichungen für eine statische, symmetrische Kugelmasse. Er findet die gleiche nun **Schwarzschildradius** genannte kritische Größe

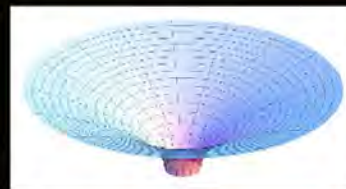
$$r_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Die einen **Ereignishorizont** (EH) darstellt.

Später wurden andere Lösungen für rotierende oder geladene Massen gefunden, die auch Ereignishorizonte haben können. Objekte, die kleiner sind als ihr Ereignishorizont werden heute **Schwarze Löcher** (SL) genannt (John Wheeler (1967) nach Ann Ewing (1964))



Niemand glaubte, dass es solche Objekte geben könnte, bis Subrahmanyan Chandrasekhar 1930 zeigte, dass Sterne mit mehr als 1,4 Sonnenmassen am Ende zu Neutronensternen kollabieren müssen. Schwerer als 2,5 Sonnenmassen entsteht unweigerlich ein Schwarzes Loch.



## Einige Eigenschaften Schwarzer Löcher

- Die einfachsten Objekte des Universums: **Masse, Drehimpuls, Ladung**
- Nichts kann vom EH nach außen entkommen
- **Von außen betrachtet** fällt ein Beobachter immer langsamer werdend auf den EH zu und erreicht ihn nie. Seine Uhr tickt immer langsamer. Dabei wird er schnell röter und dunkler (ausgeblendet).
- Der einfallende Beobachter bemerkt den EH gar nicht, fällt aber unausweichlich in die zentrale Singularität. Dabei wird er in die Länge gezogen (spaghettifiziert).

# Nachweise & mehr

Stellare SL in  
Doppelsternen



Gravitationswellen



Zentren von  
Galaxien



Hawking-Strahlung

Gravitationslinseneffekt  
LIVE!-

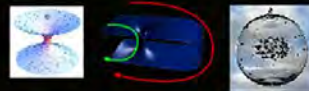


Das Informationsproblem

All Together Now!

Firewall

Wurmlöcher



# Nachweise & mehr

Stellare SL in  
Doppelsternen



Gravitationswellen



Zentren von  
Galaxien

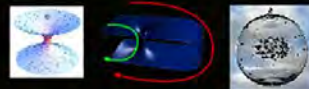


Hawking-Strahlung

Das Informationsproblem

Firewall

Wurmlöcher



Gravitationslinseneffekt  
LIVE!-



All Together Now!

# Fiktionen



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

© 2011 Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg  
www.springer.com

These: Die aktuelle Wahrnehmung der Welt spiegelt sich in SF-Filmen insbesondere in der Darstellung der ETs wieder

- Krieg der Welten (1898/1938/2005) (Monster)
- Der Tag an dem die Erde still stand (1951/2008) (letztlich einsichtig/hilfreich)
- Unheimliche Begegnung der dritten Art (1977) (unheimlich / nett)
- ET (1982) (nett)
- ...
- Arrival (2016) (sehr bedrohlich, aber ... sie helfen uns -- wir helfen ihnen)



## Aspekte Schwarzer Löcher in der Literatur und im Film

Technisch:

Tor zu anderen Welten: Contact (1997/1985)/ Interstellar (2014)

Überwindung von Raum und Zeit: Lemm: Fiasko(1986)

Technische Bedrohung: Hogan: Es war drei mal (1980)

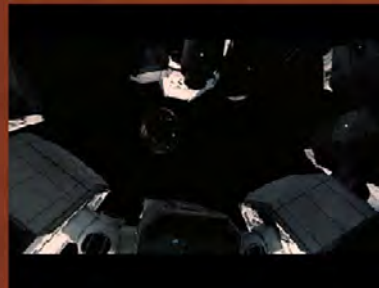
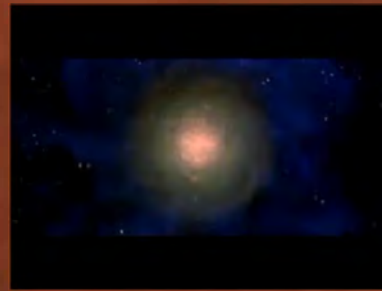
Mystisch / religiös verklärt: Fegefeuer/ Dantes Inferno: Das Schwarze Loch (1979)

Das Böse: Event Horizon (1997)

vollständigere Liste

[https://en.wikipedia.org/wiki/Black\\_holes\\_in\\_fiction](https://en.wikipedia.org/wiki/Black_holes_in_fiction)

## *Einige Beispiele*



*Und zum Schluss:  
Manchmal scheint Wissenschaft wie Kunst  
und phantastischer als es sich ein Künstler  
ausmalen könnte...*



***Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit***

Linkliste und weiteres Material demnächst auf meiner Homepage

[www.hcu-hamburg.de/geo/schramm](http://www.hcu-hamburg.de/geo/schramm)

## Abstract

Schwarze Löcher haben seit ihrer theoretischen Vorhersage und aktuell ihrer „Beobachtung“ die Phantasie der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, aber auch der Autorinnen und Autoren der phantastischen Literatur und nicht zuletzt der Filmschaffenden inspiriert. Einst ein Kuriosum, trägt heute die Untersuchung der Eigenschaften Schwarzer Löcher zum fundamentalen Verständnis der Natur bei. An ihrem Horizont hört das gesicherte Wissen auf und lässt Raum für physikalische, philosophische aber auch phantastische Spekulationen.

Wir folgen der Entdeckungsgeschichte bis zum aktuellen Stand der Forschung und diskutieren die naive bis physikalisch fundierte Umsetzung im Science-Fiction von Disneys „Das Schwarze Loch“ bis Nolans „Interstellar“.

## Link-Liste

### INTRO

HINTERM HORIZONT - Das Video zum Musical

<https://youtu.be/XJbymn70tPY>

<http://www.spektrum.de/news/schwarze-loecher-und-ihre-geheimnisse/1432028>

### Historisches & The Theoretical Minimum

Michell & Laplace

<http://www.narit.or.th/en/files/2009JAHHvol12/2009JAHH...12...90M.pdf>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Fluchtgeschwindigkeit\\_\(Raumfahrt\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Fluchtgeschwindigkeit_(Raumfahrt))

Wie die Schwarzen Löcher in das Universum kamen

<http://www.uni-heidelberg.de/presse/ruca/ruca04-02/schwarz.html>

### Und dann kam Einstein

<http://www.einstein-inside.de/>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Karl\\_Schwarzschild](https://de.wikipedia.org/wiki/Karl_Schwarzschild)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Ereignishorizont>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzschild-Metrik>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Subrahmanyan\\_Chandrasekhar](https://de.wikipedia.org/wiki/Subrahmanyan_Chandrasekhar)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Chandrasekhar-Grenze>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Tolman-Oppenheimer-Volkoff-Grenze>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes\\_Loch](https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kerr-Metrik>

### Nachweise & mehr

Stellare Schwarze Löcher

[https://de.wikipedia.org/wiki/Cygnus\\_X-1](https://de.wikipedia.org/wiki/Cygnus_X-1)

Stars at the centre of the Galaxy

[https://youtu.be/bXaDO-U\\_2yA](https://youtu.be/bXaDO-U_2yA)

[http://astro.uchicago.edu/cosmus/projects/UCLA\\_GCG/](http://astro.uchicago.edu/cosmus/projects/UCLA_GCG/)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Galaktisches\\_Zentrum](https://de.wikipedia.org/wiki/Galaktisches_Zentrum)

Gravitationswellen

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/gravitationswellen-zum-zweiten-mal-nachgewiesen-a-1097733.html>

LIGO Detects Gravitational Waves

<https://youtu.be/B4XzLDM3Py8>

This Is What Gravitational Waves Sound Like

<https://youtu.be/599lqzzhhAs>

Gravitational waves: A three minute guide

<https://youtu.be/hhbMpe17fzA>

<http://www.black-holes.org/>

<http://www.black-holes.org/explore/sounds>

Gravitationslinseneffekt

<https://de.wikipedia.org/wiki/Gravitationslinseneffekt>

<http://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/gravitationslinse/154>

Linsensimulationen

Optik irregulärer Medien

<https://youtu.be/FH0jJ7OUUiM>

Kaustiken irregulärer Medien

<https://youtu.be/L3aPqtM1u6c>

GL Real Image low

<https://youtu.be/3a9NI8hwpvo>

Black Hole Comparison

<https://youtu.be/QgNDao7m41M>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Wurmloch>

<https://www.heise.de/tp/news/Ist-unser-Universum-in-einem-Schwarzen-Loch-1991552.html>

Travel INSIDE a Black Hole - Short Documentary

<https://youtu.be/X8rFs1TFrYk>

Travel INSIDE a Black Hole

<https://youtu.be/3pAnRKD4raY>

What Happens at the Event Horizon? | Space Time | PBS Digital Studios

<https://youtu.be/mht-1c4wc0Q>

## **Fiktionen**

Botticelli / Dante Inferno

<https://youtu.be/owKdVa0FjVc>

Literatur/Filme

[https://en.wikipedia.org/wiki/Black\\_holes\\_in\\_fiction](https://en.wikipedia.org/wiki/Black_holes_in_fiction)

James P. Hogan

[https://de.wikipedia.org/wiki/James\\_P.\\_Hogan\\_\(Schriftsteller\)](https://de.wikipedia.org/wiki/James_P._Hogan_(Schriftsteller)) ! Politisch dubios

[https://en.wikipedia.org/wiki/Thrice\\_Upon\\_a\\_Time](https://en.wikipedia.org/wiki/Thrice_Upon_a_Time) (Deutsch: Es war Dreimal)

Stanislaw Lem

[https://de.wikipedia.org/wiki/Stanislaw\\_Lem](https://de.wikipedia.org/wiki/Stanislaw_Lem)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Fiasco\\_\(Stanislaw\\_Lem\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Fiasco_(Stanislaw_Lem))

Botticelli/Dante

[https://de.wikipedia.org/wiki/Botticelli\\_Inferno](https://de.wikipedia.org/wiki/Botticelli_Inferno)

Kinofilme

Disney Das schwarze Loch / The Black Hole

[https://de.wikipedia.org/wiki/Das\\_schwarze\\_Loch](https://de.wikipedia.org/wiki/Das_schwarze_Loch)

Das schwarze Loch (1979) - Maximilian! (Filmausschnitt)

<https://youtu.be/m6335kc5mHQ>

V.I.N.CENT Versus Maximilian in "The Black Hole"

<https://youtu.be/n5pOiyD4h6E>

The Black Hole (1979) - The Salvation of Dr. Hans Reinhardt

<https://youtu.be/nFv9ZRAqG1s>

Event Horizon

[https://de.wikipedia.org/wiki/Event\\_Horizon\\_%E2%80%93\\_Am\\_Rande\\_des\\_Universums](https://de.wikipedia.org/wiki/Event_Horizon_%E2%80%93_Am_Rande_des_Universums)

Event Horizon Trailer | Deutsch / German | Top / Beste Horror Filme

<https://youtu.be/gNwxbnkqyP0>

Event Horizon Trailer HD

<https://youtu.be/OVlnER8SxfQ>

What happens to you if you fall into a black hole?

[http://math.ucr.edu/home/baez/physics/Relativity/BlackHoles/fall\\_in.html](http://math.ucr.edu/home/baez/physics/Relativity/BlackHoles/fall_in.html)

Contact

[https://de.wikipedia.org/wiki/Contact\\_\(1997\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Contact_(1997))

[https://de.wikipedia.org/wiki/Contact\\_\(Roman\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Contact_(Roman))

Contact Space Travel (HD)

<https://youtu.be/scBY3cVyeyA>

Interstellar

<https://de.wikipedia.org/wiki/Interstellar>

Interstellar - CLIP: The Wormhole (2014) | HD

<https://www.youtube.com/watch?v=Ln2SGm9gEuE>

Interstellar Black hole scene

<https://youtu.be/YdSz12Ghlw>

Interstellar - Landing in the Tesseract Scene 1080p

<https://youtu.be/iJio07EtKYc>

## Schluss

Laniakea: Our home supercluster

<https://youtu.be/rENyyRwxpHo>

auch beeindruckend

<http://www.sciencealert.com/this-is-what-the-entire-universe-looks-like-in-a-single-image>

## The Black Hole

**The Black Hole/AT: Mind's Eye; Quantum Voyage**

US · 2015 · Laufzeit 116 Minuten · FSK 12 · Science Fiction-Film, Thriller

<http://www.moviepilot.de/movies/the-black-hole--3>

**Mark Steven Grohe zeigt in The Black Hole eine Erschütterung des Raum-Zeit-Gefüges.**

### **Handlung von The Black Hole**

Mattie ([Izzie Steele](#)) ist Studentin an einer Musikschule. Eines Tages tragen sich in ihrem Umfeld seltsame Ereignisse zu: Menschen verschwinden von einem Moment zum nächsten, Räume verändern sich vor ihren Augen, sie sieht und hört Dinge, die andere nicht wahrnehmen können.

Aus Angst an einer Krankheit zu leiden, sucht sie Ärzte auf, doch die wollen ihr nicht glauben, als sie keine körperlichen Ursachen finden. Einzig ihr Physiklehrer Mr. Willis ([Dean Cain](#)) scheint ähnliche Phänomene zu beobachten. Um sie herum scheinen sich die Strukturen von Raum und Zeit aufzulösen. (MJ)