

**JORGE CHAM
DANIEL WHITESON**

„Köstlich und komisch, akkurat und intelligent“
CARLO ROVELLI

KOSMOS



**WO IST
DIE MITTE DES
WELTALLS?**

**FAQ RUND UM
DAS UNIVERSUM**

**JORGE CHAM
DANIEL WHITESON**

**WO IST
DIE MITTE DES
WELTALLS?**

**FAQ RUND UM
DAS UNIVERSUM**

**AUS DEM AMERIKANISCHEN ENGLISCH
VON BENJAMIN SCHILLING**

KOSMOS

IMPRESSUM

Aus dem amerikanischen Englisch übersetzt von Benjamin Schilling.

Titel der Originalausgabe: *Frequently Asked Questions about the Universe*, erschienen bei Riverhead Books, an imprint of Penguin Random House LLC, unter der ISBN 978-0-593-18931-3.

Copyright © der Originalausgabe 2021 Jorge Cham und Daniel Whiteson

Umschlaggestaltung von Büro Jorge Schmidt, München, unter Verwendung von Illustrationen von Jorge Cham.

Mit 301 Illustrationen von Jorge Cham

Unser gesamtes Programm finden Sie unter **kosmos.de**.
Über Neuigkeiten informieren Sie regelmäßig unsere Newsletter,
einfach anmelden unter **kosmos.de/newsletter**

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier



Für die deutschsprachige Ausgabe:

© 2023, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG,

Pfizerstraße 5-7, 70184 Stuttgart

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-440-17655-9

Projektleitung: Sven Melchert

Redaktion: Susanne Richter

Satz: Text & Bild | Michael Grätzbach

Produktion: Ralf Paucke

Druck und Bindung: Friedrich Pustet GmbH & Co. KG, Regensburg

Printed in Germany/Imprimé en Allemagne

INHALT

- 8 Eine häufig erfragte Einleitung
- 12 Wieso kann ich nicht in die Vergangenheit reisen?
- 27 Wieso haben uns noch keine Außerirdischen besucht?
Oder waren sie doch schon da?
- 42 Gibt es Sie mehrmals?
- 60 Wie lange wird die Menschheit überleben?
- 78 Was passiert, wenn mich ein Schwarzes Loch einsaugt?
- 99 Warum können wir uns nicht teleportieren?
- 117 Gibt es irgendwo da draußen eine andere Erde?
- 132 Was hält uns davon ab, zu den Sternen zu reisen?
- 148 Wird ein Asteroid die Erde treffen und uns alle
umbringen?
- 171 Sind Menschen vorhersehbar?
- 186 Wo kommt das Universum her?
- 204 Wird die Zeit irgendwann anhalten?
- 224 Ist ein Leben nach dem Tod möglich?
- 240 Leben wir in einer Computersimulation?
- 255 Warum ist $E = mc^2$?
- 270 Wo liegt das Zentrum des Universums?
- 284 Können wir aus dem Mars eine neue Erde machen?
- 302 Können wir einen Warp-Antrieb bauen?
- 320 Wann wird die Sonne erlöschen?
- 333 Warum stellen wir Fragen?
- 337 Danksagung
- 338 Register

WAS PASSIERT, WENN MICH EIN SCHWARZES LOCH EINSAUGT?

Das fragen sich anscheinend viele Leute.



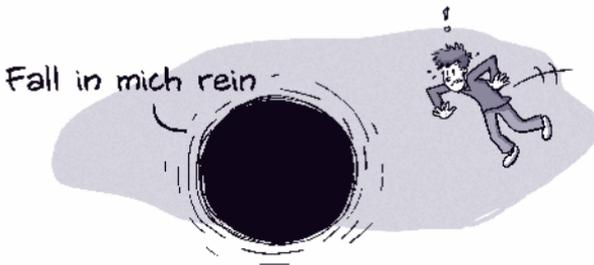
Es handelt sich um ein verbreitetes Rätsel, das in vielen Lehrbüchern behandelt wird, und um eine Frage, die uns viele unserer Zuhörer und Leser stellen. Aber warum ist das so? Tauchen überall auf der Welt plötzlich wie aus dem Nichts Schwarze Löcher in den Hinterhöfen

der Menschen auf? Oder gibt es da draußen Leute, die ganz in der Nähe eines Schwarzen Lochs ein Picknick machen wollen und Angst davor haben, ihre Kinder unbeaufsichtigt drum herum rennen zu lassen?

Vermutlich nicht. Die Faszination für den Sturz in ein Schwarzes Loch hat wahrscheinlich weniger damit zu tun, dass es tatsächlich dazu kommen könnte, sondern eher mit unserer grundlegenden Neugier hinsichtlich dieser faszinierenden Weltraumobjekte. Und es stimmt: Schwarze Löcher sind wirklich *mysteriös*. Es sind merkwürdige Regionen des Weltraums, aus denen nichts entkommen kann – Lücken im Gewebe der Raumzeit selbst, die komplett vom Rest der Realität losgelöst sind.

Doch wie wäre es, in eines reinzufallen? Würde man zwangsläufig sterben? Würde es sich anders anfühlen als jeder Sturz in ein normales Loch? Würden Sie im Inneren auf verborgene Geheimnisse des Universums stoßen oder der Entstehung von Raum und Zeit mit eigenen Augen beiwohnen? Und würden Ihre Augen (und Ihr Gehirn) im Inneren eines Schwarzen Lochs überhaupt funktionieren?

Es gibt nur einen Weg, das herauszufinden, und zwar, indem man reinspringt. Also schnappen Sie sich Ihre Picknickdecke, sagen Sie Ihren Kindern Lebewohl (vielleicht für immer) und bleiben Sie bei uns, denn wir sind im Begriff, den Sprung in die ultimative Hinterhof-Gefahrenzone zu wagen.



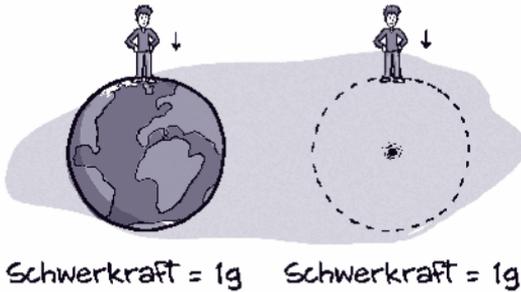
DIE ANNÄHERUNG AN DAS SCHWARZE LOCH

Was Ihnen bei der Annäherung an ein Schwarzes Loch als erstes auffallen dürfte, ist, dass Schwarze Löcher wirklich aussehen wie ... Schwarze Löcher. Sie sind definitiv schwarz: Schwarze Löcher geben absolut kein Licht ab und jegliches Licht, das auf sie fällt, bleibt in ihrem Inneren gefangen. Wenn Sie also den Blick auf eines richten, sehen Ihre Augen keine Photonen und Ihr Gehirn interpretiert das als schwarz.¹

Außerdem handelt es sich definitiv um Löcher. Sie können sie sich als kugelförmige Bereiche im Raum vorstellen, bei denen alles, was in ihnen verschwindet, auch für immer drin bleibt. Das, was die Dinge im Inneren hält, ist die Schwerkraft der Dinge, die schon drinnen sind: In einem Schwarzen Loch wird Masse so stark verdichtet, dass die Auswirkungen der Schwerkraft enorm sind. Warum? Weil die Schwerkraft zunimmt, je weiter man sich einer Sache mit Masse nähert, was bei einer derart verdichteten Masse heißt, dass man ihr *richtig* nah kommen kann.

Im Normalfall nehmen Dinge mit einer großen Masse relativ viel Raum ein. Nehmen wir zum Beispiel die Erde. Die Erde hat in etwa die gleiche Masse wie ein Schwarzes Loch von rund 1,25 Zentimetern Durchmesser (was ungefähr so groß ist wie eine Murmel). Wenn Sie einen Erdradius weit vom Mittelpunkt der Erde und von einem murmelgroßen Schwarzen Loch entfernt stünden, würden Sie die gleiche Schwerkraft spüren.

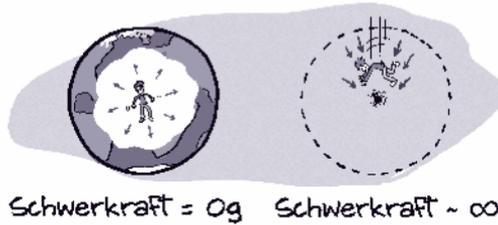
¹ In Wahrheit sind Schwarze Löcher nicht vollkommen schwarz. Das bisschen Strahlung, das sie abgeben, wird (nach Stephen Hawking) „Hawking-Strahlung“ genannt, ist aber so matt, dass Ihre Augen es nicht einmal registrieren würden.



Allerdings würden zwei sehr unterschiedliche Dinge passieren, wenn Sie jedem einzelnen dieser beiden Objekte näherkämen. In der Nähe des Erdmittelpunkts spüren Sie irgendwann nämlich *gar* keine Schwerkraft mehr. Das liegt daran, dass sich die Erde überall um Sie herum befindet und deshalb in alle Richtungen gleichmäßig an Ihnen zieht. Dagegen würden Sie in der Nähe des Schwarzen Lochs ein *enormes* Maß an Schwerkraft spüren. Sie würden die gesamte Masse der Erde zu spüren bekommen und zwar *ganz nah* bei Ihnen. Denn genau das ist ein Schwarzes Loch: eine unglaublich kompakte Masse, die dazu führt, dass es auf die Dinge in seiner unmittelbaren Umgebung eine extrem starke Wirkung ausübt.

Richtig kompakte Massen erzeugen um sich herum ein extrem starkes Schwerkraftfeld und sorgen noch in einiger Entfernung dafür, dass sich der Raum so sehr krümmt, dass ihnen nicht einmal das Licht entkommen kann (Sie erinnern sich, dass die Schwerkraft nicht nur an Dingen zieht; sie krümmt den Raum). Der Punkt, an dem das Licht nicht mehr in der Lage ist, zu entkommen, wird „Ereignishorizont“ genannt – und er definiert (mehr oder weniger), wo das Schwarze Loch anfängt.² Es handelt sich um den Radius des schwarzen kugelförmigen Objekts, das wir als Schwarzes Loch bezeichnen.

² Wir sagen hier „mehr oder weniger“, weil es bei sich drehenden Schwarzen Löchern ein kleines bisschen anders ist und weil der schwarze Teil, wie wir später sehen werden, ein klein wenig über den Ereignishorizont hinausragt.



Die Größe eines Schwarzen Lochs kann sich ändern und hängt davon ab, wie viel Masse hineingepresst wird. Würde man die Erde stark genug komprimieren, bekäme man ein Schwarzes Loch von der Größe einer Murmel, weil ihm in einer Entfernung von etwa einem Zentimeter kein Licht mehr entkommen könnte. Diese Entfernung wird aber umso größer, je mehr Masse man hinzufügt. Würde man zum Beispiel die Sonne komprimieren, wäre die Krümmung des Raums stärker und der Ereignishorizont läge weiter draußen, in drei Kilometern Entfernung. Das würde Ihnen ein sechs Kilometer durchmessendes Schwarzes Loch beschern. Je größer die Masse, desto größer das Schwarze Loch.

Tatsächlich gibt es theoretisch keine Grenze, wie groß ein Schwarzes Loch sein kann. Das kleinste, im Weltraum von uns entdeckte Schwarze Loch ist im Durchmesser etwa 20 Kilometer groß, das größte mehrere zehn Milliarden Kilometer. Die wirklich einzige Einschränkung besteht darin, wie viel Material in der Umgebung für die Erzeugung des Schwarzen Lochs vorhanden ist und wie viel Zeit man der Entstehung des Schwarzen Lochs einräumt.



Das Zweite, was Ihnen bei der Annäherung an ein Schwarzes Loch auffallen dürfte, ist, dass Schwarze Löcher oft nicht allein sind. Manchmal sieht man irgendwelche Sachen, die in das Schwarze Loch reinfallen. Genauer gesagt sieht man, wie diese Sachen um sie herum wirbeln und darauf warten, ins Schwarze Loch reinzufallen.

Dieses Zeug wird als „Akkretionsscheibe“ bezeichnet. Sie besteht aus Gas, Staub und anderer Materie, die nicht gleich vom Schwarzen Loch eingesaugt wurde, sondern sich auf einer Umlaufbahn darum befindet und nur darauf wartet, endlich nach innen zu trudeln. Was bei einem kleinen Schwarzen Loch nicht sehr beeindruckend sein mag, kann bei einem supermassereichen Schwarzen Loch ein unvergesslicher Anblick sein. Schon die bloße Reibungsenergie von all den Gas- und Staubteilchen, die mit Ultrahochgeschwindigkeit im Kreis wirbeln, kann so heftig sein, dass die Materie in Stücke gerissen wird. Das setzt eine Menge Energie frei, was einige der stärksten Lichtquellen im Universum hervorbringt. Diese sogenannten Quasare³ können in manchen Fällen tausendmal heller sein als alle Sterne einer einzelnen Galaxie zusammen.



Zum Glück bilden nicht alle Schwarzen Löcher, nicht mal die supermassereichen unter ihnen, Quasare (oder Blasare, die, wenn wir schon dabei sind, so etwas wie Quasare auf Steroiden sind). In den meisten

³ Eine Art Quasi-Sterne, vom Englischen „quasi-stellar object“ (Anm. d. Übers.).

Fällen hat die Akkretionsscheibe nicht die nötige Menge an Material oder die richtigen Bedingungen, um so ein dramatisches Schauspiel zu erzeugen. Das ist auch gut so, weil Sie durch die Nähe zu so einem Quasar wahrscheinlich unmittelbar vaporisiert würden, und zwar lange, bevor Sie auch nur einen Blick auf das Schwarze Loch erhaschen könnten. Hoffen wir also, dass das Schwarze Loch, in das Sie reinzufallen gedenken, über eine schöne und relativ ruhige Akkretionsscheibe verfügt und Sie auch wirklich eine Chance haben, sich ihm zu nähern.



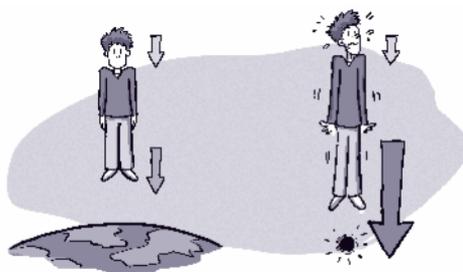
SCHWARZES LOCH BEIM CHILLEN

IMMER NÄHER

Sie haben sich also versichert, dass das Schwarze Loch, in das Sie reinfallen werden, nicht über eine brodelnde Toilettenschüssel voll brennendem Gas und Staub verfügt, die mehr Energie in die Luft schleudert als eine Milliarde Sterne zusammengenommen. Als nächstes sollten Sie sich über einen Tod durch die Schwerkraft selbst Gedanken machen.

Bei den Worten „Tod durch Schwerkraft“ denkt man normalerweise daran, von etwas Hohem in den Tod zu stürzen, zum Beispiel von einem Gebäude oder einem Flugzeug. In solchen Fällen ist die Schwerkraft aber gar nicht schuld – es ist die Landung, die einen umbringt, nicht der Sturz. Doch im Weltraum, in der Nähe eines Schwarzen Lochs, kann einen tatsächlich der Sturz umbringen.

Sie müssen wissen, dass die Schwerkraft nicht einfach nur an Ihnen zieht; sie versucht, Sie zu zerreißen. Und denken Sie daran, dass die Schwerkraft von der Entfernung zu dem massereichen Objekt abhängt. Wenn Sie hier auf der Erde auf dem Boden stehen, sind Ihre Füße der Erde näher als Ihr Kopf und das heißt, dass Ihre Füße die Anziehung der Schwerkraft stärker spüren als Ihr Kopf. Würden Sie ein Gummiband nehmen und an einem Ende stärker ziehen als am anderen, würde sich das Band ausdehnen – und zwar selbst dann, wenn Sie beide Enden in dieselbe Richtung ziehen würden. Genau das passiert gerade mit Ihnen: Die Teile von Ihnen, die dem Erdboden näher sind, erfahren mehr Schwerkraft, während die Erde Sie wie ein Gummiband auseinanderzuziehen versucht.⁴



Natürlich werden Sie eher nicht das Gefühl haben, auseinandergezogen zu werden, was vor allem daran liegt, dass 1. unsere Körper sehr weich sind, aber auch wieder nicht so weich (soll heißen, dass wir eigentlich recht stabil sind), und 2. der Unterschied zwischen der Schwerkraft an Ihrem Kopf und Ihren Füßen nicht besonders groß ist. Die Gravitation auf der Erde ist ziemlich schwach, weshalb Ihr Kopf und Ihre Füße so ziemlich das gleiche Maß an Schwerkraft erfahren.

⁴ Das würde noch mehr zutreffen, wenn Sie in die Luft springen oder sich im freien Fall befinden würden. In Wahrheit versucht die Schwerkraft nämlich, Sie plattzudrücken, weil Ihre Füße auf dem Boden stehen und nirgendwo hinkönnen.

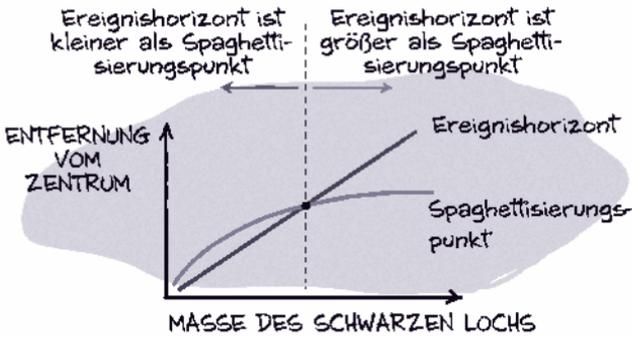
Sie könnten aber durchaus in Schwierigkeiten geraten, wenn die Schwerkraft insgesamt stärker wäre. Falls Sie sich im freien Fall auf ein wirklich massereiches Objekt zubewegen würden, könnte die Schwerkraft stark genug sein, um die unterschiedlichen Gezeitenkräfte an Ihrem Kopf und Ihren Füßen spüren zu können. Das ist ungefähr wie bei einer Kinderrutsche: Je größer die Rutsche, desto steiler ist sie nach unten hin. Ab einem bestimmten Punkt könnte sich die Schwerkraft an Ihren beiden Enden so sehr unterscheiden, dass sie Sie *tatsächlich* zerreißen würde.

An dieser Stelle werden viele Lehrbücher darauf hinweisen, dass man den Eintritt in ein Schwarzes Loch unmöglich überleben kann. Für gewöhnlich werden sie sagen, dass die Schwerkraft um ein Schwarzes Loch herum dermaßen stark ist, dass man schon vor dem Eintritt „spaghettisiert“ (mit anderen Worten „auseinandergezogen“) würde. In Wahrheit stimmt das aber nicht unbedingt! Es ist absolut möglich, in ein Schwarzes Loch einzutauchen.

Wie sich herausstellt, stimmen der Punkt, ab dem die Schwerkraft Sie auseinanderziehen würde (nennen wir ihn den „Spaghettisierungspunkt“), und der Punkt, von dem an das Licht dem Schwarzen Loch nicht mehr entkommen kann (d. h. der Rand des Schwarzen Lochs) nicht überein. Stattdessen liegen sie bezogen aufeinander – je nach Masse des Schwarzen Lochs – an unterschiedlichen Orten. Der Spaghettisierungspunkt ändert sich proportional zur Kubikwurzel der Masse des Schwarzen Lochs, während sich der Rand des Schwarzen Lochs linear mit seiner Masse ändert.

Demnach ist der Spaghettisierungspunkt bei kleinen Schwarzen Löchern größer als der Ereignishorizont und das bedeutet, dass er sich hinter dem Rand des Schwarzen Lochs befindet, also *außerhalb*. Dagegen ist der Spaghettisierungspunkt bei großen Schwarzen Löchern kleiner und liegt *in dessen Innerem*. So hat ein Schwarzes Loch mit einer Million Sonnenmassen beispielsweise einen Radius von

3.000.000 Kilometern, während seine Schwerkraft Sie erst tief in seinem Inneren, 24.000 Kilometer vom Zentrum entfernt, zerreißen wird. Ein kleines Schwarzes Loch mit einem Radius von 30 Kilometern würde Sie dagegen schon in 440 Kilometern Entfernung spaghettiisieren, also lange, bevor Sie an seinen Rand gelangen.



Die Tatsache, dass es in Wahrheit gefährlicher ist, sich kleinen Schwarzen Löchern statt großen zu nähern, mag einem seltsam vorkommen, aber genau das sagen die Zahlen über Schwarze Löcher. Größere Schwarze Löcher erstrecken sich über so riesige Gebiete, dass sie am Rand gar nicht so stark sein müssen, um Dinge einzusaugen und im Inneren festzuhalten.

DIE UNMITTELBARE UMGEBUNG DES SCHWARZEN LOCHS

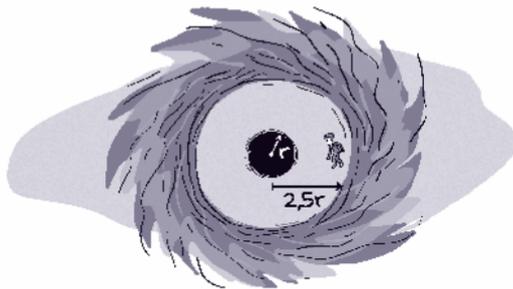
Na gut, Sie haben sich also erfolgreich ein Schwarzes Loch ausgesucht, in dessen Umkreis keine wilde Party stattfindet und das groß genug ist, Sie erst in Stücke zu reißen, *nachdem* Sie es rein geschafft haben. Das heißt also ... es ist höchste Zeit einzutauchen. Aber Vorsicht, jetzt wird es erst richtig abgefahren.

Wenn Sie dem Schwarzen Loch nahe sind, werden Sie zwei interessante Dinge feststellen.

Zuerst werden Sie in etwa dreifacher Entfernung des Ereignishorizonts merken, dass die Akkretionsscheibe plötzlich endet und die direkte Umgebung des Schwarzen Lochs überwiegend leer zurückbleibt. Das liegt daran, dass der Großteil der Materie, die diesen Punkt überquert, schnell ins Innere hinabstürzt. Dabei handelt es sich um den Punkt, an dem es für die meiste Materie kein Zurück mehr gibt, was für Sie bedeutet, dass Sie jetzt so ziemlich alles dafür getan haben, um ins Schwarze Loch einzutreten. Falls Sie an der ganzen Sache hier irgendwelche Zweifel hatten, hätten Sie längst darüber nachdenken sollen, bevor Sie damit anfangen, diesen Abschnitt hier zu lesen.

Als Zweites werden Sie feststellen, welche enorme Krümmung des Raumes in so großer Nähe zu einem Schwarzen Loch um Sie herum stattfindet. Sie befinden sich jetzt an einem Punkt, an dem die Schwerkraft so stark ist, dass sie die Art, wie sich das Licht bewegt, deutlich wahrnehmbar verzerrt. Es ist, als würde man im Inneren einer Linse umherschwimmen: Der Weltraum in der Nähe eines Schwarzen Lochs ist so stark gekrümmt, dass sich Licht nicht länger auf einer vermeintlich geraden Linie fortbewegt.

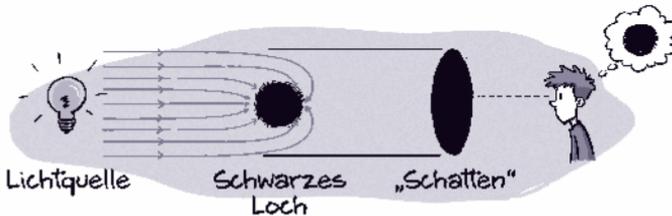
Schauen wir uns jetzt einige der schrägen Dinge an, die Sie auf Ihrem weiteren Weg ins Innere erleben werden.



Der Schatten des Schwarzen Lochs⁵

Im etwa 2,5-fachen Radius des Schwarzen Lochs werden Sie in den sogenannten „Schatten“ des Schwarzen Lochs vordringen. Dies ist der eigentliche schwarze Kreis, den jeder, der ein Schwarzes Loch betrachtet, zu sehen bekommt.

Schwarze Löcher werfen einen Schatten, der größer ist als sie selbst, weil sie nicht nur die Photonen innerhalb des Ereignishorizonts einfangen; sie krümmen auch die Bahnen der Photonen, die in der Nähe vorbeifliegen. Jegliches Licht, das in einer gewissen Entfernung vom Schwarzen Loch auf Sie zufliegt, wird in dessen Gravitationstrichter hineinfallen und schließlich im Inneren verschwinden.



Dieser Schatten wirkt umso größer, je weiter Sie sich auf das Schwarze Loch zubewegen. Je näher Sie ihm kommen, umso mehr von dem Licht, das ansonsten auf Ihr Auge getroffen wäre, wird durch das Schwarze Loch verschluckt, sodass es irgendwann fast ihr gesamtes Sichtfeld einnimmt.

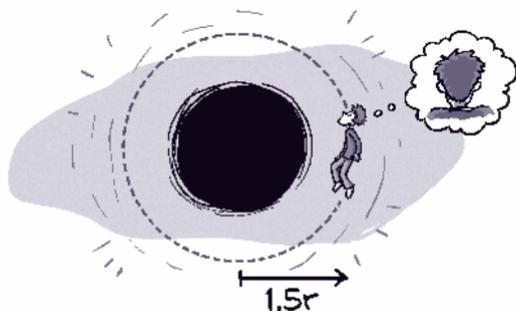
Im Übrigen ist das zufällig auch der Moment, an dem Ihre Freunde ein Foto von Ihnen machen sollten, weil es für sie so aussehen wird, als ob Sie in völlige Dunkelheit gehüllt wären: Es wird *aussehen*, als befänden Sie sich im Inneren des Schwarzen Lochs, auch wenn Sie noch immer einen weiten Weg vor sich haben.

⁵ Auch bekannt als „Der perfekte Titel für den einen Science-Fiction-Roman, den Sie schon immer schreiben wollten“.

Der endlose Kreis des Lichts⁶

Die nächste spaßige Wegmarke werden Sie etwa beim 1,5-fachen Radius des Schwarzen Lochs erreichen: den Punkt, an dem Licht das Schwarze Loch auf einer perfekten, kreisförmigen Bahn umrundet. Licht kann ein Schwarzes Loch auf die gleiche Art umkreisen, wie Planeten und Satelliten sich auf einer Umlaufbahn um ein massereicheres Objekt bewegen können. Das Bemerkenswerte an Licht auf seinem Orbit um ein Schwarzes Loch ist, dass Licht keinerlei Masse hat! Das bedeutet, dass es sich genaugenommen nur aufgrund der Krümmung des Raumes im Kreis bewegt. Womöglich könnte so ein Photon bis in alle Ewigkeit auf seiner Umlaufbahn um ein Schwarzes Loch kreisen, wenngleich jede Art von Ablenkung dazu führen wird, dass es entweder ins Schwarze Loch hinein oder nach draußen in den Weltraum wirbelt.

Das Coole am Überschreiten dieser Schwelle auf dem Weg zum Schwarzen Loch ist: Wenn Sie in jede erdenkliche Richtung seitwärts zum Schwarzen Loch schauen, werden Sie Ihren *Hinterkopf* sehen können, weil das Licht einen perfekten Kreis bildet. Falls Sie sich je gefragt haben, wie Sie von hinten aussehen, ist das hier Ihre Chance.



6 a. k. a. „Der perfekte Name für den New-Age-Kult, den Sie schon immer ins Leben rufen wollten“.

Bend It Like Beckham⁷

Weniger als den 1,5-fachen Radius vom Schwarzen Loch entfernt würden Sie den Punkt erreichen, an dem sich nicht mal mehr Licht auf einer sicheren Umlaufbahn bewegen kann. Ihre Chancen zu entkommen schrumpfen stetig und alles deutet darauf hin, dass Sie sowohl buchstäblich als auch im übertragenen Sinne auf dem Weg in ein Schwarzes Loch sind.

Mittlerweile werden Sie das Gefühl haben, dass der Schatten des Schwarzen Lochs Sie einhüllt und sich Ihr Fenster zum Universum dadurch immer weiter schließt. Wenn Sie nach hinten schauen, werden Sie einen immer kleiner werdenden Ausschnitt des Universums sehen.



Das Verrückte an diesem Bild des Universums ist, dass es das gesamte Universum enthält, ja sogar alles, was sich hinter dem Schwarzen Loch befindet. An diesem Punkt ist der Raum schon so stark gekrümmt, dass Licht aus allen Richtungen des Universums ankommt und mehrere Male im Kreis herumwirbelt, bevor es Sie an den Seiten und am hinteren Teil Ihres Kopfes trifft. Diese extreme Fischaugen-

⁷ a. k. a. ..., na ja, tatsächlich hat jemand diesen Film schon gedreht. [Im Deutschen lautet der Titel eigentlich „Kick It Like Beckham“, aber dabei ginge hier der Bezug zur Raumkrümmung verloren (Anm. d. Übers.).]

perspektive des gesamten Kosmos wird Ihnen am Rand Ihres Sichtfelds wie in einer Endlosschleife sogar unzählige Kopien des Universums zeigen.

Während Sie sich immer weiter auf das Zentrum des Schwarzen Lochs zubewegen, wird dieses Fenster nach draußen ins Universum immer weiter schrumpfen und das Bild des Schwarzen Lochs wird in jede Richtung, in die Sie blicken, überwiegen.

Und dann ... werden Sie den Ereignishorizont überqueren.

WAS IHRE FREUNDE SEHEN WERDEN

An dieser Stelle lohnt es sich darüber nachzudenken, was Ihre Freunde mit all dem anfangen werden. Sie wissen schon, die Freunde, die es für eine bescheuerte Idee hielten, in ein Schwarzes Loch zu springen, und zurückgeblieben sind? Keine Frage, sie waren mit Sicherheit eine große Unterstützung, aber was ist es, das sie sehen, wenn Sie diesen ruhmreichen Sprung ins Ungewisse wagen?

Wie sich herausstellt, werden sie es nie erleben. Und zwar nicht, weil Ihr Sprung durch die Dunkelheit des Schwarzen Lochs verschleiert wird, sondern weil es *für sie* buchstäblich nie dazu kommt.

Wie Sie wissen, verzerrt die Schwerkraft nicht nur den Raum, sondern auch die *Zeit*. Und Schwarze Löcher besitzen so viel Schwerkraft, dass sie die Zeit auf sehr extreme Art und Weise verzerren.

Viele von uns wissen, dass sich die Zeit bei sehr hohen Geschwindigkeiten verlangsamt. Wenn Sie zum Beispiel an Bord eines Raumschiffs klettern, um mit annähernder Lichtgeschwindigkeit davon zu flitzen und anschließend wieder zurückzukommen, wird die Zeit für Sie langsamer vergangen sein, während alle, die Sie kennen, schneller als Sie selbst gealtert sind. Doch nicht nur Geschwindigkeiten können diese Wirkung auf die Zeit haben; das Ganze passiert auch in der Nähe

wirklich massereicher Objekte (wie eines Schwarzen Lochs). Sie krümmen nicht nur den Raum, sondern verlangsamen auch die Zeit.

Wenn Sie in die unmittelbare Umgebung des Schwarzen Lochs eintauchen, werden Ihre Freunde beobachten, wie sich die Zeit für Sie verlangsamt. In ihren Augen wird es irgendwann so aussehen, als ob Sie sich in Suuuperzeeiiiiitluuupe fortbewegen. Sie werden sehen, wie Sie dem Schwarzen LÖcher immer langsamer immer näher kommen.



Und je näher Sie dem Schwarzen Loch kommen, desto langsamer wird Ihre Uhr ticken. Irgendwann wird sich Ihre Uhr so sehr verlangsamen, dass es aus Sicht ihrer Freunde fast so aussehen wird, als würde für Sie die Zeit stillstehen. Wir sind sicher, es handelt sich um tolle Freunde. Aber am Ende werden sie wahrscheinlich trotzdem aufgeben und sich dem Rest ihres Lebens widmen. Das letzte Bild, das sie von Ihnen sehen werden, wird matt und rötlich sein, weil die Gravitation die Wellenlänge der Photonen auch noch ins Infrarotspektrum verschiebt.

Die Wahrheit lautet, dass es für den Rest des Universums nicht nur sehr lange dauern wird, bis Sie endlich reinfallen – es wird buchstäblich nie passieren. Von außen betrachtet wird die Zeit für Sie stehenbleiben und Ihr Bild für immer und ewig in die Oberfläche des Schwarzen Lochs eingraviert sein. Es würde unendlich lange dauern, bis Sie für einen außenstehenden Betrachter vollständig eintauchen. Ganze Sonnensysteme und Galaxien würden entstehen und wieder

vergehen. Viele Billionen Jahre würden verstreichen und niemand würde sehen, wie Sie die Schwelle überqueren.

Falls Sie Ihre Freunde mit einer dramatischen Geste beeindrucken wollten, war die Entscheidung, in ein Schwarzes Loch zu springen, nicht besonders clever.



DER EINTRITT INS SCHWARZE LOCH

Natürlich ist das nur das, was Ihre Freunde sehen werden. Für Sie selbst ist das Ganze trotzdem eine wilde Achterbahnfahrt.

Vergessen Sie nicht, dass für *Sie* die Zeit weiterhin normal abläuft und der Trip ins Schwarze Loch in Ihren Augen deshalb in ganz normalem Tempo verlaufen wird.

Sie werden *auf jeden Fall* ins Schwarze Loch eintauchen – nur wird es für das Universum draußen so aussehen, als ob es nie dazu kommen wird.

Was passiert also, wenn Sie den Ereignishorizont endlich überqueren? Nichts Besonderes, glauben Physiker.

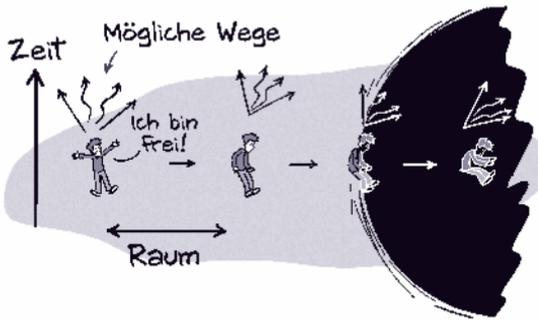
Wenn Sie die letzte Schwelle überschreiten, schrumpft Ihre Sicht auf das Universum draußen auf einen immer kleineren Punkt zusammen und alles um Sie herum wird völlig dunkel. Die einzige für Sie noch sichtbare Lichtquelle ist jener Punkt genau hinter Ihnen, der ein winziges Abbild des gesamten Universums enthält. Das ist also schon mal irgendwas. Doch genau *am* Ereignishorizont selbst gibt es

der Theorie zufolge nicht wirklich etwas. Es gibt keine Mauer und keinen Zaun, kein Kraftfeld, kein Konfetti und auch kein Tor, das mit galaktischen Wachleuten bemannt ist. Es handelt sich einfach um den Ort im Weltraum, von dem an es kein Zurück mehr gibt.

Wie Sie wissen, ist der Raum im Inneren des Schwarzen Lochs so stark gekrümmt, dass kein Weg mehr nach draußen führt. Ab jetzt verläuft die Raumzeit nur noch in eine Richtung (vorwärts), wie schnell Sie auch unterwegs sein mögen. Und während es außerhalb des Schwarzen Lochs lediglich die Zeit war, die nur eine Richtung kannte (vorwärts), verläuft hinter dem Ereignishorizont auch der Raum nur in eine Richtung (nach innen). Jeder Kurs im Inneren des Schwarzen Lochs führt weiter hinein.

Diese Veränderung dürfte aus Ihrer Sicht nicht plötzlich stattgefunden haben, sondern allmählich. Denn als Sie dem Ereignishorizont näherkamen, wurden irgendwann auch die potenziellen Wege, die Sie hätten einschlagen können, verzerrt. Die Wege, die vom Schwarzen Loch wegführten, wurden immer weniger – und der Ereignishorizont ist nichts weiter als der Punkt, von dem an alle möglichen Wege, die sich Ihnen bieten, nach innen weisen.

Eins ist klar: Sie kommen da jetzt definitiv nicht mehr raus. An diesem Punkt ist Flucht mehr als zwecklos: Wenn Sie sich wehren und zu fliehen versuchen, werden Sie sich nur noch schneller auf das Zentrum des Schwarzen Lochs zubewegen.



WAS ERWARTET SIE DRINNEN?

Wie ist das jetzt also, im Inneren des Schwarzen Lochs zu sein?

Die Wahrheit lautet: Niemand weiß es. Und tatsächlich werden wir es vielleicht sogar *nie* wissen.

Wir wissen noch nicht einmal, ob es im Inneren eines Schwarzen Lochs überhaupt möglich ist, zu *denken*. Unsere Körper funktionieren nur, wenn sich Blut, Informationen und Ionen in alle Richtungen bewegen. Wären Sie eigentlich überhaupt am Leben – geschweige denn bei Bewusstsein –, wenn Ihre Neuronen und Ihr Blut nur in eine Richtung, zum Zentrum des Schwarzen Lochs hin, feuern und fließen können?

Noch Wesentlicher ist jedoch, dass wir nicht wirklich wissen, wie Raum und Zeit jenseits des Ereignishorizonts aussehen. Wir können uns lediglich *vorstellen*, was passieren wird. Bis jetzt lag die Allgemeine Relativitätstheorie bei allen Dingen richtig, die außerhalb von Schwarzen Löchern passieren (und hat sogar deren Existenz vorausgesagt). Aber wir wissen auch, dass die Allgemeine Relativitätstheorie nicht die präziseste Beschreibung dessen ist, wie das Universum funktioniert. So wissen wir zum Beispiel, dass sie auf der Mikroebene versagt, wo man die Quantenmechanik nicht außer Acht lassen darf. Ist es also möglich, dass die Allgemeine Relativität in einem Schwarzen Loch versagt? Ganz bestimmt, aber wir können nicht sagen, wie sehr sie daneben liegt oder ob sie vielleicht nur im absoluten Zentrum des Schwarzen Lochs versagt.

Falls die Allgemeine Relativität in einem Schwarzen Loch weiter überwiegend Recht behält, ist das, was als Nächstes passiert, nicht besonders aufregend. Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie wird die Schwerkraft einfach weiterhin immer intensiver, während Sie selbst sich immer schneller auf das Zentrum des Schwarzen Lochs zubewegen. Tatsächlich würden Sie bei einem Schwarzen Loch wie

dem in der Mitte der Milchstraße nach etwa 20 Sekunden im Zentrum landen. Aber natürlich würden Sie es gar nicht bis dorthin schaffen, weil Sie definitiv irgendwann den Spaghettisierungspunkt (Sie erinnern sich?) erreichen und in alle Einzelteile zerlegt würden.

Wenn die Allgemeine Relativität aber für das, was genau hinter dem Ereignishorizont passiert, *nicht* gilt, dann dürfen wir wild darüber spekulieren, was alles passieren könnte. Wie sich herausstellt, könnten Sie bei Ihrem Eintritt auf eine Reihe von lustigen Dingen stoßen:

- › **Ein anderes Universum.** Manche Physiker glauben (und halten es sogar für wahrscheinlich), dass im Inneren eines Schwarzen Lochs ein ganz anderes Universum existieren könnte. Mag sein, dass Sie beim Eintauchen ins Schwarze Loch bei der Geburt eines neuen Babyuniversums wieder auftauchen.
- › **Ein Wurmloch.** Eine andere Theorie besagt, dass das Innere von Schwarzen Löchern mit einem Wurmloch (einer Art Tunnel in der Raumzeit) zusammenhängt und Sie in einen anderen Teil (und eine andere Zeit) des Universums befördern kann. Was befindet sich am anderen Ende? Wissenschaftler spekulieren darüber, dass ein Weißes Loch – das Gegenteil eines Schwarzen Lochs – Sie am anderen Ende ausspucken könnte. Wenn ein Schwarzes Loch ein Ort ist, in dem Dinge verschwinden, dem sie aber nie entkommen können, dann ist ein Weißes Loch ein theoretischer Ort, dem Dinge entkommen, das sie aber niemals betreten können. Stellen Sie sich unter einem *Weißes Loch* eine Weltraumregion vor, in der der Raum auf eine so spezielle Art gekrümmt ist, dass alle Richtungen aus dem Weißes Loch herausweisen.

Natürlich denken Sie jetzt vielleicht: *Wo kommen denn die ganzen Sachen her, die aus dem Weißes Loch rausfliegen?* Sie kommen aus dem Schwarzen Loch und zwar durchs Wurmloch!

DAS KÖNNTEN SIE IN EINEM SCHWARZEN LOCH FINDEN:



In jedem Fall wären Sie damit am Ende Ihrer Reise angelangt, zumindest was unser Universum betrifft. Wenn Sie erst mal im Schwarzen Loch sind, ist es sehr unwahrscheinlich, dass Sie da je wieder rauskommen und das heißt: Egal, ob Sie eines schrecklichen Todes sterben, die Geheimnisse von Quantenmechanik und Allgemeiner Relativität ergründen oder ein völlig neues Universum vorfinden, nur *Sie* allein werden dieses fantastische Geheimnis kennen.

Das einzige Problem ist, dass Sie niemandem davon erzählen können.

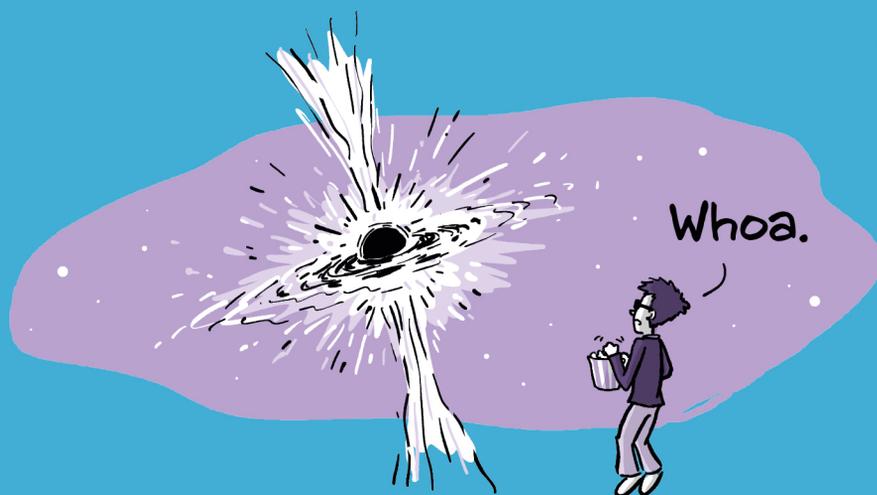


SCHWARZE LÖCHER, ALIENS UND DIE ZUKUNFT DER MENSCHHEIT

Wo kommt das Universum her? Warum können wir nicht in der Zeit zurückreisen? Gibt es eine zweite Erde? Und was haben Spaghetti mit einem Schwarzen Loch zu tun?

Daniel und Jorge beantworten die wichtigsten und witzigsten Fragen rund um das Universum. Mit ihrer typischen Mischung aus Humor, genial einfachen Erklärungen und coolen Cartoons sorgen sie für unterhaltsame Aha-Erlebnisse.

Ein Leitfaden durch die verwirrenden Aspekte von Raum und Zeit – herrlich witzig und galaktisch schlau.



WG 1983
ISBN 978-3-440-17655-9
VQ



9 783440 176559