



Dies ist eine Leseprobe von Klett-Cotta. Dieses Buch und unser  
gesamtes Programm finden Sie unter [www.klett-cotta.de](http://www.klett-cotta.de)

Brillanter Physiker, revolutionärer Kosmologe, unerschütterlicher Optimist. Für Stephen Hawking bergen die Weiten des Universums nicht nur naturwissenschaftliche Geheimnisse. In seinem persönlichsten Buch beantwortet der Autor die großen Fragen des menschlichen Lebens und spricht die wichtigsten Themen unserer Zeit an. Zugänglich und klar erläutert er die Folgen des menschlichen Fortschritts – vom Klimawandel bis hin zu künstlicher Intelligenz – und diskutiert seine Gefahren. Hier finden Sie Hawkings Antworten auf die Urfragen der Menschheit. Ein großer Appell an politische Machthaber und jeden Einzelnen von uns, unseren bedrohten Heimatplaneten besser zu schützen.

STEPHEN WILLIAM HAWKING (1942–2018) war ein britischer Astrophysiker und Sachbuchautor. Von 1979 bis 2009 lehrte er als Professor für angewandte Mathematik und theoretische Physik an der University of Cambridge. Für seine bahnbrechenden Forschungsbeiträge zur Kosmologie, zur Allgemeinen Relativitätstheorie und zu Schwarzen Löchern wurde er mit zahlreichen Auszeichnungen geehrt. »Eine kurze Geschichte der Zeit« und »Das Universum in der Nusschale« gehören zu den erfolgreichsten Sachbüchern der Welt. 1963 wurde bei Hawking Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) diagnostiziert; infolge der Erkrankung verlor er seine motorischen und sprachlichen Fähigkeiten. Zur verbalen Kommunikation nutzte Hawking seit 1985 einen Sprachcomputer.

# STEPHEN HAWKING

---

KURZE ANTWORTEN  
AUF GROSSE FRAGEN

Aus dem Englischen von  
Susanne Held und Hainer Kober

KLETT-COTTA

Hinweis zur Übersetzung: Das »Vorwort«, die »Einführung«, die Kapitel 7–10 sowie das »Nachwort« hat Susanne Held aus dem Englischen übertragen (S. 9–25 und S. 169–244).  
Hainer Kober hat die Einleitung von Stephen Hawking sowie die Kapitel 1–6 (S. 27–168) übersetzt.

Klett-Cotta

[www.klett-cotta.de](http://www.klett-cotta.de)

Die Originalausgabe erschien unter dem Titel »Brief Answers to the Big Questions« im Verlag John Murray, Verlagsgruppe Hachette UK, London

© Spacetime Publications Limited 2018

Für die deutsche Ausgabe

© 2018, 2020 by J. G. Cotta'sche Buchhandlung

Nachfolger GmbH, gegr. 1659, Stuttgart

Alle deutschsprachigen Rechte vorbehalten

Printed in Germany

Cover: Rothfos & Gabler, Hamburg

Unter Verwendung eines Fotos von © shutterstock

Gesetzt von Dörlemann Satz, Lemförde

Gedruckt und gebunden von CPI – Clausen & Bosse, Leck

ISBN 978-3-608-98383-8

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

## INHALT

Hinweis des Verlags John Murray, London . . . . .	7
Vorwort . . . . .	9
<i>Eddie Redmayne</i>	
Einführung . . . . .	13
<i>Kip S. Thorne</i>	
Warum wir die großen Fragen stellen müssen . . .	27
1 Gibt es einen Gott? . . . . .	49
2 Wie hat alles angefangen? . . . . .	65
3 Gibt es anderes intelligentes Leben im Universum? . . . . .	91
4 Können wir die Zukunft vorhersagen? . . . . .	113
5 Was befindet sich in einem Schwarzen Loch? . . . . .	125
6 Sind Zeitreisen möglich? . . . . .	149
7 Werden wir auf der Erde überleben? . . . . .	169

8	Sollten wir den Weltraum besiedeln? . . . . .	189
9	Wird uns Künstliche Intelligenz überflügeln? . . . . .	207
10	Wie gestalten wir unsere Zukunft? . . . . .	223
	Nachwort . . . . .	239
	<i>Lucy Hawking</i>	

## ANHANG

	Danksagung . . . . .	247
	Bildnachweis . . . . .	249
	Register . . . . .	251

HINWEIS DES VERLAGS  
JOHN MURRAY, LONDON

Stephen Hawking wurde von Wissenschaftlern, High-tech-Unternehmern, hochrangigen Geschäftsleuten, Politikern und der Öffentlichkeit regelmäßig nach seinen Gedanken zu den »großen Fragen« des Tages gefragt. Stephen unterhielt ein umfangreiches persönliches Archiv mit seinen Antworten in Form von Reden, Interviews, Essays, Entgegnungen und Stellungnahmen zu diesen großen Fragen.

Dieses Buch ist aus diesem persönlichen Archiv hervorgegangen. Es entstand gerade, als Stephen Hawking starb. In Zusammenarbeit mit seinen akademischen Kollegen, seiner Familie und dem *Stephen Hawking Estate* wurde dieses Buch vorbereitet und fertiggestellt.

Ein Teil der Einnahmen für dieses Buch wird gespendet.

## VORWORT

*Eddie Redmayne*

Als ich Stephen Hawking zum ersten Mal begegnete, war ich von seiner außergewöhnlichen Vitalität und seiner Verletzlichkeit überwältigt. Die Entschlossenheit in seinem Blick, in Verbindung mit dem bewegungslosen Körper, kannte ich aus meinen Recherchen – ich war kurz zuvor engagiert worden, Stephen in dem Film *Die Entdeckung der Unendlichkeit (The Theory of Everything)* zu spielen, und hatte mehrere Monate damit zugebracht, sein Werk zu studieren sowie die Besonderheiten seiner Krankheit. Ich versuchte mir vorzustellen, wie ich meinen Körper einzusetzen hatte, um die Entwicklung der ALS-Erkrankung über die Jahre hinweg zum Ausdruck bringen zu können.

Als ich Stephen dann tatsächlich begegnete, der Ikone, diesem genial begabten Wissenschaftler, dessen Kommunikation fast ausschließlich mittels einer Computerstimme erfolgte, unterstützt durch ein Paar außergewöhnlich ausdrucksstarke Augenbrauen, war ich völlig überwältigt. Werden Pausen in einer Unterhaltung zu lang, neige ich zu Nervosität und rede dann viel zu viel, wohingegen Stephen die Macht des Schweigens bestens



verstand wie auch die Macht des Gefühls, man werde eingehend geprüft. Nervös, wie ich war, beschloss ich, ihm mitzuteilen, dass unsere Geburtstage nur wenige Tage auseinanderlagen, wir also zum selben Tierkreiszeichen gehörten. Nach wenigen Minuten antwortete er: »Ich bin ein Astronom. Kein Astrologe.« Außerdem bestand er darauf, dass ich ihn Stephen nannte und nicht mit »Professor« anredete. Man hatte mich gewarnt ...

Stephen zu verkörpern, bedeutete für mich eine außergewöhnliche Herausforderung. Was mich an der Rolle faszinierte, war die Dualität von Stephens äußerem Triumph, der von seiner wissenschaftlichen Arbeit herrührte, und seinem inneren Kampf gegen ALS (Amyotrophe Lateralsklerose), der begann, als er gerade 20 Jahre alt geworden war. Seine Geschichte war einzigartig komplex und reich, ein Zeugnis menschlichen Durchhaltevermögens, Familiensinns, enormer akademischer Leistungen und unerbittlichen Widerstands angesichts all der Hindernisse. Wir wollten die Inspiration darstellen, aber auch die Charakterstärke und den Mut in Stephens Leben, die er und diejenigen bewiesen haben, die für ihn sorgten.

Aber genauso wichtig war uns, Stephen als einen gewieften Showman zu zeigen. Für meinen Trailer dienten mir letztlich drei Bilder als Leitlinie. Eines zeigte Einstein, der seine Zunge herausstreckt – derselbe spielerische Witz kommt bei Hawking zum Ausdruck. Ein anderes war der Joker in einem Kartenspiel, dargestellt als Puppenspieler, denn ich bin überzeugt, es gab immer Menschen, die Stephen in der Hand hatte. Und der

dritte ausschlaggebende Eindruck war James Dean. Von Deans funkelndem Blick und seinem Humor habe ich viel für meine Rolle profitiert.

Das bedrückendste Problem, wenn man eine lebende Person spielt, besteht darin, dass man für seine Darbietung vor ebendieser Person, die man verkörpert hat, geradestehen muss. In Stephens Fall bezog das auch seine Familie mit ein, die mir während der Vorbereitung auf den Film so großzügig geholfen hatte. Bevor Stephen sich den fertigen Film anschaute, sagte er mir: »Ich werde dir mitteilen, wie ich es finde. Gut. Oder anders.« Sollte sein Urteil »anders« lauten, erwiderte ich, würde es vielleicht genügen, wenn er nur »anders« sagte und mir die peinigenden Einzelheiten ersparte! Großzügig meinte Stephen anschließend, der Film hätte ihm gefallen. Er fand ihn bewegend, allerdings stellte er ebenfalls fest, mehr Physik und weniger Gefühle hätten dem Film gutgetan. Dagegen kann man nichts einwenden.

Seit der *Entdeckung der Unendlichkeit* habe ich Kontakt mit der Familie von Stephen Hawking. Es berührte mich, dass man mich bat, bei Stephens Beerdigung einen Text vorzutragen. Es war ein unglaublich trauriger Tag, bei strahlendem Wetter, voller Liebe und freudiger Erinnerungen und Betrachtungen über diesen Mutigsten der Menschen, der die Welt mit seiner Wissenschaft und mit seiner Neugier als Forscher auch dazu gebracht hatte, behinderte Menschen anzuerkennen und ihnen einen wirklichen Spielraum zu eröffnen, ihnen Chancen einzuräumen, sich zu entwickeln.

Wir haben einen der erstaunlichsten Wissenschaftler

und einen der humorvollsten Menschen verloren, dem zu begegnen ich die Freude hatte. Seine Arbeit und sein Erbe leben jedoch weiter, sagte schon seine Familie bei seinem Tod, und daher darf ich, obwohl ich noch immer traurig bin, mit großer Freude diese Textsammlung von Stephen über verschiedene faszinierende Themen einleiten.

Ich hoffe, Sie finden Gefallen an diesen Texten, und ich hoffe, um mit Barack Obama zu sprechen, Stephen hat jetzt Spaß

*da droben mitten unter den Sternen  
up there among the stars.*

Herzlich  
Eddie  
*Juli 2018*

## EINFÜHRUNG

*Kip S. Thorne*

Meine erste Begegnung mit Stephen Hawking fand im Juli 1965 in London statt, bei einer Konferenz über Allgemeine Relativitätstheorie und Gravitation. Stephen arbeitete in Cambridge an seiner Dissertation; ich hatte mein Promotionsstudium in Princeton gerade abgeschlossen. Gerüchte schwirrten in den Konferenzräumen umher, Stephen habe ein schlüssiges Argument für die These gefunden, unser Universum müsse irgendwann in der Vergangenheit einen Anfang gehabt haben. Das Universum könne nicht unendlich alt sein.

Mit gut 100 Leuten quetschte ich mich also in einen Raum, der eigentlich für 40 ausgelegt war, um Stephen zu hören. Er ging am Stock und seine Aussprache war nicht sehr deutlich, ansonsten zeigten sich nur wenige Anzeichen der Amyotrophen Lateralsklerose, die bei ihm zwei Jahre zuvor diagnostiziert worden war. Seinen Genius, das war offensichtlich, hatte die Krankheit nicht tangiert. Sein luzider Gedankengang stützte sich auf Einsteins Gleichungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie und auf die Beobachtungen von Astronomen, dass unser Universum sich ausdehnt, sowie auf einige

wenige einfache Thesen, die sehr überzeugend wirkten. Außerdem wendete er gewisse neue mathematische Verfahren an, die Roger Penrose kurz zuvor entwickelt hatte. Stephen kombinierte all das klug, überzeugend und fesselnd; dann leitete er sein Ergebnis ab: Unser Universum muss in einer Art singulärem Zustand vor rund zehn Milliarden Jahren angefangen haben zu existieren. (In den darauf folgenden zehn Jahren bewiesen Stephen und Roger mit vereinten Kräften und zunehmend überzeugend diesen singulären Beginn der Zeit. Darüber hinaus bewiesen sie, ebenfalls zunehmend überzeugend, dass der Kern jedes Schwarzen Loches von einer Singularität besetzt ist, in der die Zeit endet.)

1965 war ich von Stephens Vortrag tief beeindruckt: nicht nur von seinem Beweis und seiner Schlussfolgerung, sondern mehr noch von seiner Klarheit und Kreativität. Ich wandte mich also an ihn und verbrachte eine Stunde mit ihm im Gespräch unter vier Augen. Das war der Beginn einer lebenslangen Freundschaft, einer Freundschaft, die nicht lediglich auf gemeinsamen Interessen beruhte, sondern auf großer gegenseitiger Sympathie, einer verblüffenden Möglichkeit gegenseitigen zwischenmenschlichen Verstehens. Bald verbrachten wir mehr Zeit damit, über unser Leben, unsere Lieben, ja sogar über den Tod als über Wissenschaft zu sprechen, obwohl unsere Wissenschaft der Kitt blieb, der uns verband.

Im September 1973 nahm ich Stephen und seine Frau Jane nach Moskau mit. Trotz des Kalten Krieges verbrachte ich seit 1968 jedes zweite Jahr rund einen Mo-

nat in Moskau und arbeitete mit Mitgliedern einer Forschungsgruppe unter Jakow Borissowitsch Seldowitsch zusammen. Seldowitsch war ein herausragender Astrophysiker und einer der Väter der sowjetischen Wasserstoffbombe. Aus Geheimhaltungsgründen war es ihm daher nicht gestattet, nach Westeuropa oder Amerika zu reisen. Er war äußerst interessiert an einem Austausch mit Stephen. Da er Stephen nicht aufsuchen konnte, kamen wir zu ihm.

Stephen begeisterte in Moskau Seldowitsch und Hunderte weitere Wissenschaftler mit seinen Erkenntnissen, und im Gegenzug lernte Stephen ein oder zwei Dinge von Seldowitsch. Am denkwürdigsten war ein Nachmittag, den Stephen und ich mit Seldowitsch und seinem Doktoranden Alexei Starobinski in Stephens Zimmer im Hotel Rossija verbrachten.

Seldowitsch erklärte sehr anschaulich eine bemerkenswerte Entdeckung, die er und Starobinski gemacht hatten, und Starobinski lieferte die mathematische Erklärung dazu. Für die Rotation eines Schwarzen Loches wird Energie benötigt. Das wussten wir schon. Sie erklärten, ein Schwarzes Loch könne seine Rotationsenergie nutzen, um Partikel zu schaffen, und diese Partikel würden weggeschleudert und nähmen die Rotationsenergie mit. Das war neu und überraschend – trotzdem nicht umwerfend überraschend. Denn wenn ein Objekt über Bewegungsenergie verfügt, findet die Natur normalerweise eine Möglichkeit, ihm diese Energie zu entziehen. Wir kannten bereits andere Möglichkeiten, die Rotationsenergie eines Schwarzen Loches zu befreien.

Hier handelte es sich einfach um eine weitere neue, wenn auch unerwartete Möglichkeit.

Der große Wert solcher Gespräche liegt nun freilich darin, dass sie am Anfang neuer Denkwege stehen können. Und das war damals auch bei Stephen der Fall. Er dachte mehrere Monate über die Entdeckung von Seldowitsch und Starobinski nach, betrachtete sie erst von der einen, dann von einer anderen Seite, bis er schließlich eines Tages zu einer ganz grundlegenden Einsicht kam: Hört ein Schwarzes Loch auf zu rotieren, kann es trotzdem noch Partikel ausstoßen. Ein solches Schwarzes Loch kann strahlen – und es strahlt, als ob es heiß wäre wie die Sonne, wenn es auch nicht extrem heiß ist, eher mäßig warm.

Je schwerer das Loch ist, desto niedriger ist seine Temperatur. Ein Loch, das so viel wiegt wie die Sonne, hat eine Temperatur von  $0,00000006$  Kelvin:  $0,06$  Millionstel von einem Grad über dem absoluten Nullpunkt. Die Formel für die Berechnung dieser Temperatur ist jetzt auf Stephens Grabstein in der Westminster Abbey in London eingraviert, wo seine Asche zwischen Isaac Newton und Charles Darwin beigesetzt wurde.

Diese *Hawking-Temperatur* eines Schwarzen Loches und seine *Hawking-Strahlung* – so die späteren Bezeichnungen – waren extrem radikal. Womöglich sind *Hawking-Temperatur* und *Hawking-Strahlung* die fundamentalste Entdeckung der Theoretischen Physik in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Sie öffneten uns die Augen für tiefgreifende Beziehungen zwischen der Allgemeinen Relativität (Schwarze Löcher), der

Thermodynamik (Wärme-Physik) und der Quantenphysik (der Entstehung von Partikeln, wo zuvor keine waren).

Vor diesem Hintergrund gelang es Stephen beispielsweise zu beweisen, dass ein Schwarzes Loch *Entropie* besitzt. Irgendwo im Inneren oder im Umkreis des Schwarzen Loches herrscht folglich eine außerordentlich hohe Zufälligkeit. Stephen folgerte daraus, das Ausmaß an Entropie (der Logarithmus des gesamten Ausmaßes an Zufälligkeit) verhalte sich proportional zur Oberfläche des Loches. Seine Entropie-Formel wird auf Stephens Gedenkstein im *Gonville & Caius College* in Cambridge, seiner Wirkungsstätte, eingraviert sein.

In den vergangenen 45 Jahren haben Stephen und Hunderte von Physikern sich damit beschäftigt, die genaue Natur der Zufälligkeit eines Schwarzen Loches zu verstehen. Die Frage bringt immer weitere neue Einsichten über die Verbindung der Quantentheorie mit der Allgemeinen Relativität hervor, also über die noch nicht hinreichend verstandenen Gesetze der *Quantengravitation*.

Im Herbst 1974 kam Stephen für ein Jahr mit seinen Doktoranden und seiner Familie (seiner Frau Jane und ihren beiden Kindern Robert und Lucy) ins kalifornische Pasadena, damit er und seine Studenten am Geistesleben meiner Universität, des *California Institute of Technology*, teilhaben und sich zeitweise meiner Forschungsgruppe anschließen konnten. Es war ein *ganzvolles* Jahr, ein *annus mirabilis* auf dem Höhepunkt dessen, was dann später als »das Goldene Zeit-



alter der Erforschung Schwarzer Löcher« bezeichnet wurde.

Während dieses Jahres arbeiteten Stephen und seine Studenten sowie einige meiner Schüler unermüdlich daran, Schwarze Löcher besser zu verstehen, und auch ich selbst beteiligte mich in einem gewissen Ausmaß. Dass Stephen vor Ort war und unsere zusammengesetzte Forschungsgruppe leitete, verschaffte mir den Freiraum, eine neue Richtung zu verfolgen, über die ich schon seit einigen Jahren nachgedacht hatte: *Gravitationswellen*.

Lediglich zwei Arten von Wellen reisen durch das Universum und können uns Informationen über weit entfernte Dinge zutragen: *elektromagnetische Wellen* (dazu gehören Lichtstrahlen, Röntgenstrahlen, Gammastrahlen, Mikrowellen, Radiowellen ...) und *Gravitationswellen*.

Elektromagnetische Wellen bestehen aus oszillierenden elektrischen und magnetischen Kräften und bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit fort. Treffen sie auf geladene Partikel wie beispielsweise auf die Elektronen in einem Radio oder einer Fernsehantenne, lassen sie diese Partikel sich hin- und herbewegen und laden in ihnen die Welleninformation ab. Diese Information kann dann verstärkt und in einen Lautsprecher oder auf einen Fernsehbildschirm übertragen werden, sodass sie für Menschen verstehbar wird.

Gravitationswellen bestehen, so die Erkenntnis Einsteins, aus einer oszillierenden Raumverzerrung: einer oszillierenden Streckung und Stauchung des Raumes. 1972 erfand Rainer (Rai) Weiss vom MIT in Cambridge,

Massachusetts, einen Gravitationswellendetektor: In einem solchen Detektor werden Spiegel, die in der Ecke und an den Enden einer L-förmigen Vakuumröhre hängen, entlang des einen L-Balkens durch die Streckung des Raumes auseinandergezogen und entlang des anderen L-Balkens durch Stauchung des Raumes zusammengeschoben.

Rai schlug vor, Laserstrahlen zu verwenden, um das oszillierende Muster dieser Streckung und Stauchung zu messen. Das Laserlicht konnte eine Gravitationswellen-Information entnehmen, und das Signal konnte dann verstärkt und für menschliches Verstehen zugänglich in einen Computer eingelesen werden.

Die Erforschung des Universums mit elektromagnetischen Teleskopen – die sogenannte elektromagnetische Astronomie – geht auf Galileo Galilei zurück. Er baute ein kleines optisches Teleskop, richtete es auf den Jupiter und entdeckte seine vier größten Monde. In den 400 Jahren seit damals hat die elektromagnetische Astronomie unser Verständnis vom Universum revolutioniert.

1972 fingen meine Studenten und ich an, darüber nachzudenken, was wir über das Universum erfahren könnten, wenn wir mit Gravitationswellen arbeiteten: Wir begannen mit der Arbeit an einer Vision für *Gravitationswellen-Astronomie*. Gravitationswellen stellen eine Art Raumverzerrung dar. Daher werden sie am stärksten von Objekten produziert, die ihrerseits vollständig oder teilweise aus verzerrter Raumzeit bestehen – und das sind vor allem Schwarze Löcher. Gravitationswellen waren, so folgerten wir daraus, das ideale Instrument,

um Stephens Erkenntnisse über Schwarze Löcher zu untersuchen und zu überprüfen.

Außerdem hatten wir den Eindruck, Gravitationswellen unterschieden sich von elektromagnetischen Wellen so grundlegend, dass sie fast mit Sicherheit wiederum eine neue, ganz eigene Revolution unseres Verständnisses vom Universum zur Folge haben müssten, die möglicherweise mit der gewaltigen elektromagnetischen Revolution vergleichbar wäre, die auf Galilei folgte – *wenn* diese schwer fassbaren Wellen entdeckt und beobachtet werden könnten. Das war nun allerdings ein eklatantes *Wenn*: Wir mussten davon ausgehen, dass die Gravitationswellen, die um die Erde strömen, so schwach sind, dass die Spiegel an den Enden der L-förmigen Vorrichtung von Rai Weiss relativ zueinander um nicht mehr als  $1/100$  vom Durchmesser eines Protons vor- und zurückbewegt würden (also  $1/100000000$  von der Größe eines Atoms), und das auch nur dann, wenn die Spiegel mehrere Kilometer voneinander entfernt waren. Die Herausforderung, solche winzigen Bewegungen zu messen, war immens.

Daher verbrachte ich in diesem großartigen Jahr, während die Forschungsgruppen von Stephen und mir am *Caltech* zusammenarbeiteten, einen Großteil meiner Zeit damit, die Aussichten für einen Erfolg der Gravitationswellen-Forschung auszuloten. Stephen konnte dabei hilfreich sein, weil er und sein Schüler Gary Gibbons einige Jahre zuvor einen eigenen Gravitationswellendetektor entwickelt, aber nie gebaut hatten. Kurz nach Stephens Rückkehr nach Cambridge konnte ich in einer

intensiven, sich über die ganze Nacht hinziehenden Diskussion mit Rai Weiss in seinem Hotelzimmer in Washington D. C. die Früchte meiner Suche ernten. Ich kam zu der Überzeugung, die Erfolgsaussichten seien immerhin so groß, dass ich einen Großteil meiner Karriere und die Energie meiner zukünftigen Studenten darauf verlegen konnte, Rai und anderen Vordenkern dabei zu helfen, unsere Gravitationswellen-Vision Wirklichkeit werden zu lassen.

Und der Rest ist, wie es so schön heißt, Geschichte: Am 14. September 2015 registrierten und beobachteten unsere *LIGO*-Gravitationswellen-Detektoren (die im Rahmen eines Projekts – an dem 1000 Personen beteiligt waren – gebaut worden waren, das Rai, ich und Ronald Drever gegründet hatten. Barry Barish organisierte und leitete das Projekt und führte alle Ergebnisse zusammen) ihre *ersten Gravitationswellen*. Wir verglichen die Wellenmuster mit den Vorhersagen aus Computersimulationen, und wir kamen zu dem Schluss, dass die Wellen entstanden waren, als zwei sehr schwere Schwarze Löcher, 1,3 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt, kollidierten.

Das war der Anfang der Gravitationswellen-Astronomie. Unserem Team war für das Feld der Gravitationswellen das gelungen, was Galilei für die elektromagnetischen Wellen vollbracht hatte.

Ich bin zuversichtlich, dass sich in den vor uns liegenden Jahrzehnten die nächste Generation von Gravitationswellen-Astronomen diese Wellen zunutze machen wird – nicht nur, um Stephens Gesetze der Physik

Schwarzer Löcher zu überprüfen, sondern auch, um Gravitationswellen von der singulären Geburt unseres Universums ausfindig zu machen und zu beobachten und so die Ideen von Stephen und anderen zur Frage der Entstehung unseres Universums zu überprüfen.

Während unseres *annus mirabilis* 1974/1975, als ich mir über Gravitationswellen den Kopf zerbrach und Stephen unsere gemischte Studentengruppe zum Thema Schwarze Löcher leitete, gelangte er zu einer Erkenntnis, die von noch grundsätzlicherer Bedeutung ist als seine Entdeckung der Hawking-Strahlung. Er lieferte einen zwingenden, *fast* wasserdichten Nachweis dafür, dass, wenn sich ein Schwarzes Loch bildet und sich später durch Strahlung vollständig auflöst, die Information, die in das Schwarze Loch Eingang fand, nicht wieder herauskommt, dass also die Information unwiderrufflich verloren ist.

Das ist insofern radikal, als die Gesetze der Quantenphysik einstimmig aussagen, Information könne nie vollständig verloren gehen. Sollte Stephen recht haben, dann verletzen Schwarze Löcher ein fundamentales Gesetz der Quantenmechanik.

Wie war das möglich? Die Verdampfung eines Schwarzen Loches unterliegt den kombinierten Gesetzen der Quantenmechanik und der Allgemeinen Relativität – den kaum verstandenen Gesetzen der Quantengravitation. Also, so die Überlegung Stephens, muss die heißglühende Beziehung zwischen Gesetzen der Relativitätstheorie und der Quantenphysik die Zerstörung von Informationen zur Folge haben.

Die große Mehrheit der theoretischen Physiker findet diese Schlussfolgerung ganz schrecklich und ist extrem skeptisch. Seit beinahe 45 Jahren schlagen sie sich jetzt mit diesem sogenannten *Informationsverlust-Paradoxon* herum. Der Kampf ist jede Anstrengung und jede Panik wert, die er ausgelöst hat, denn das Paradox ist ein äußerst nützlicher Schlüssel zum Verständnis der Quantengravitations-Gesetze. Stephen entdeckte selbst im Jahr 2003 eine Möglichkeit, wie Informationen während der Verdampfung entweichen können, doch das konnte die Theoretiker und ihre Kontroversen nicht beruhigen. Stephen *bewies* nicht, dass Informationen entweichen, der Streit geht also weiter.

In meiner Grabrede für Stephen, bei der Beisetzung seiner Asche in der Westminster Abbey, erinnerte ich an diesen Streit mit den Worten:

»Newton gab uns Antworten. Hawking gab uns Fragen. Und Hawkings Fragen hören nicht auf, noch Jahrzehnte später zu Durchbrüchen zu führen. Wenn wir einst die Gesetze der Quantengravitation wirklich beherrschen werden und wenn wir die Geburt unseres Universums ganz und gar verstehen, dann wird das sehr wahrscheinlich daran liegen, dass wir auf den Schultern von Stephen Hawking stehen.«

\*\*\*

So wie unser *annus mirabilis* 1974/1975 nur erst der Anfang für meine Gravitationswellen-Forschung war, so war es auch erst der Anfang für Stephens Bemühun-

gen, die Gesetze der Quantengravitation im Detail zu verstehen und herauszufinden, was diese Gesetze über die wahre Natur der Information und Zufälligkeit eines Schwarzen Loches aussagen. Was sagen diese Gesetze ferner über die wahre Natur der singulären Geburt unseres Universums und die wahre Natur der Singularitäten im Inneren von Schwarzen Löchern aus – über die wahre Natur der Geburt und des Todes der Zeit?

Das sind große Fragen. Sehr große Fragen.

Vor großen Fragen schrecke ich zurück. Ich habe nicht genug Kenntnisse, nicht genug Weisheit oder Selbstvertrauen, um es mit ihnen aufzunehmen. Stephen war da ganz anders: Er fühlte sich von großen Fragen immer angezogen, egal ob sie in seiner Wissenschaft tief verwurzelt waren oder nicht. Und er *hatte* die nötigen Kenntnisse, die Weisheit und das Selbstvertrauen.

Dieses Buch ist eine Auswahl und ein Abriss seiner Antworten auf die großen Fragen – Antworten, an denen er bis zu seinem Tod noch arbeitete.

Stephens Antworten auf die ersten fünf Fragen sowie auf die zehnte sind tief in seiner Wissenschaft verwurzelt:

- Gibt es einen Gott?
- Wie hat alles angefangen?
- Können wir die Zukunft vorhersagen?
- Was befindet sich in einem Schwarzen Loch?
- Sind Zeitreisen möglich?
- Wie gestalten wir unsere Zukunft?

In diesen Kapiteln stellt Stephen ausführlich die Themen dar, die ich in dieser Einführung kurz angerissen habe, und außerdem noch viel, viel mehr.

Seine Antworten auf die anderen vier großen Fragen können hingegen nicht fundiert in seiner Wissenschaft verankert werden:

- Werden wir auf der Erde überleben?
- Gibt es anderes intelligentes Leben im Universum?
- Sollten wir den Weltraum besiedeln?
- Wird uns Künstliche Intelligenz überflügeln?

Doch sind seine Antworten, wie nicht anders zu erwarten, voller Weisheit und Kreativität.

Ich hoffe, Sie werden seine Antworten so anregend und scharfsinnig finden wie ich. Viel Freude bei der Lektüre!

Kip S. Thorne

*Juli 2018*