



Randall Munroe

WEITERE WIRKLICH WISSENSCHAFTLICHE ANTWORTEN

what if? 2

**Was wäre
wenn?**

AUF ABSURDE HYPOTHETISCHE FRAGEN

Aus dem amerikanischen Englisch von
Benjamin Schilling, Ralf Pannowitsch und Bernd Schuh



PENGUIN VERLAG

Die Originalausgabe erscheint 2022
unter dem Titel *What if? 2 – Additional Serious Scientific Answers
to Absurd Hypothetical Questions*
bei Riverhead Books, New York.

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten,
so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung,
da wir uns diese nicht zu eigen machen, sondern lediglich
auf deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.



Penguin Random House Verlagsgruppe FSC® N001967

1. Auflage

Copyright © der Originalausgabe 2022 xkcd inc.

Copyright © der deutschsprachigen Ausgabe 2022

Penguin Verlag in der Penguin Random House Verlagsgruppe GmbH,
Neumarkter Str. 28, 81673 München

Redaktion: Meiken Endruweit

Umschlaggestaltung: Favoritbuero, München,
nach einer Vorlage von Christina Gleason, Riverhead Books

Umschlagabbildungen: Randall Munroe

Satz: Uhl + Massopust, Aalen

Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck

Printed in Germany

ISBN 978-3-328-60093-0

www.penguin-verlag.de

DIE FRAGEN

Einleitung	9	Sternensand	96
Suppiter	11	Schaukel	100
Helikopterritt	17	Flugzeugkatapult	106
Gefährlich kalt	22	#2 Kurze Antworten	112
Eiserne Verdampfung	28	Die langsame Dinosaurier-Apokalypse	122
Kosmischer Roadtrip	35	Himmelskörper der Elemente	128
Taubenstuhl	40	Ein-Sekunden-Tag	134
#1 Kurze Antworten	45	Eine-Milliarde-Stockwerke- Hochhaus	137
T.-Rex-Kalorien	51	Der Zwei-Sextillionen- Dollar-Prozess	146
Geysir	55	Wem gehören die Sterne?	150
PEW, PEW, PEW	59	Reifengummi	154
Alle Bücher lesen	63	Plastikdinosaurier	158
#1 Seltsam & Beunruhigend	69	#3 Kurze Antworten	163
Bananische Kirche	70	Sog-Aquarium	172
Fang!	74	Irdisches Auge	179
Wie man langsam und unheimlich kompliziert abnehmen kann	78	Rom an einem Tag erbauen	185
Die Erde streichen	86	Marianengraben-Röhre	191
Jupiter kommt zu Besuch	91		

Teurer Schuhkarton	197	Japan ist mal kurz weg	286
MRT-Kompass	202	Feuer aus Mondlicht	292
Ahnenanteil	207	Alle Gesetze lesen	299
Vogelauto	211	#3 Seltsam & beunruhigend	307
Rennen ohne Regeln	215	Spuckepool	308
#2 Seltsam & beunruhigend	221	Schneeball	313
Vakuumröhren-Smartphone	222	Niagarahalm	318
Laserschirm	228	Wanderung in die Vergangenheit	324
Iss doch mal 'ne Wolke!	232	Ammoniakschlauch	333
Ellenlange Sonnen- untergänge	236	Eine Rutschstange vom Mond zur Erde	337
Lavalampe	239	#5 Kurze Antworten	350
Sisyphuskühlschränke	243	Allüberall Schnee	357
Blutalkohol	248	Überladung mit Hunden	361
Basketball-Erde	252	In die Sonne	367
Spinnen vs. Sonne	255	Sonnenschutz	372
Einen Menschen einatmen	259	Auf der Sonne spazieren	377
Candy-Crush-Blitz	263	Saure Drops und Gummibärchen	383
#4 Kurze Antworten	266	Danksagung	391
Toastwarm	274	Quellenverzeichnis	393
Protonenerde, Elektronenmond	276		
Augapfel	282		

WARNUNG DES AUTORS

Bitte nicht zu Hause ausprobieren!

**Der Autor dieses Buches ist Cartoonzeichner,
aber kein Gesundheits- oder Sicherheitsexperte.
Er mag es, wenn etwas Feuer fängt oder explodiert,
und das bedeutet, dass er nicht gerade das Beste
für die Allgemeinheit im Sinn hat. Verlag und Autor
übernehmen keinerlei Verantwortung
für schädliche Folgen, die direkt oder indirekt
aus in diesem Buch enthaltenen
Informationen entstehen können.**

EINLEITUNG

ICH MAG IRRWITZIGE FRAGEN, weil man von niemandem erwartet, eine Antwort darauf zu wissen. Es ist also okay, erst einmal irritiert zu sein.

Ich habe Physik studiert, und so gibt es eine Menge, was ich eigentlich wissen sollte – etwa, welche Masse ein Elektron hat oder warum Ihnen die Haare zu Berge stehen, wenn Sie einen Luftballon daran reiben. Wenn Sie mich fragen, wie viel ein Elektron wiegt, überläuft mich ein kleiner Angstschauer; es ist, als säße ich in einer unangekündigten Klassenarbeit und würde Probleme bekommen, wenn ich die Antwort nicht wüsste, ohne irgendwo nachzuschauen.

Aber wenn Sie mich fragen, wie viel alle Elektronen in einem Großen Tümmler wiegen, ist das eine völlig andere Situation. Kein Mensch weiß diese Zahl aus dem Stegreif – es sei denn, er hat einen *extrem coolen* Job. Es ist also in Ordnung, sich erst einmal verwirrt und sogar ein wenig blöd zu fühlen und sich dann eine Weile Zeit zu nehmen, um dies und jenes nachzuschauen. (Falls Sie mal jemand danach fragen sollte: Alle Elektronen in einem Delfin wiegen zusammen etwa ein halbes Pfund.)

Manchmal stellen sich einfache Fragen als unerwartet knifflig heraus. Warum stehen unsere Haare eigentlich ab, wenn wir mit einem Ballon daran reiben? Die übliche Antwort aus dem Physikunterricht lautet: Elektronen werden aus unseren Haaren in den Ballon übertragen, und so verbleibt im Haar eine positive Ladung. Die aufgeladenen Haare stoßen einander ab und stehen zu Berge.

Aber da wäre noch etwas ... Warum werden denn die Elektronen aus den Haaren in den Luftballon übertragen? Warum wandern sie nicht in umgekehrte Richtung?

Das ist eine große Frage, und die Antwort lautet: Niemand weiß es. Die Physik hat keine gute umfassende Theorie dafür, weshalb

manche Materialien bei Kontakt Elektronen von ihrer Oberfläche verlieren, während andere Materialien welche aufnehmen. Dieses Phänomen heißt triboelektrischer Effekt und ist ein Gegenstand der Spitzenforschung.

Man braucht ein und dieselbe Wissenschaft, um ernsthafte Fragen zu beantworten und alberne. Triboelektrische Aufladung ist wichtig, wenn man begreifen will, wie in Gewitterstürmen Blitze entstehen. Physiker zählen die Menge subatomarer Teilchen in einem Organismus, wenn sie Strahlungsrisiken modellieren wollen. Wenn wir versuchen, alberne Fragen zu beantworten, führt uns das manchmal direkt zu ernsthaften Wissenschaftsbereichen.

Und selbst wenn die Antworten überhaupt keinen Nutzen haben, ist es lustig, sie zu kennen. Das Buch, das Sie in den Händen halten, wiegt etwa so viel wie die Elektronen in zwei Delfinen. Diese Information ist vermutlich völlig unnütz, aber ich hoffe, Sie haben trotzdem Spaß dabei.

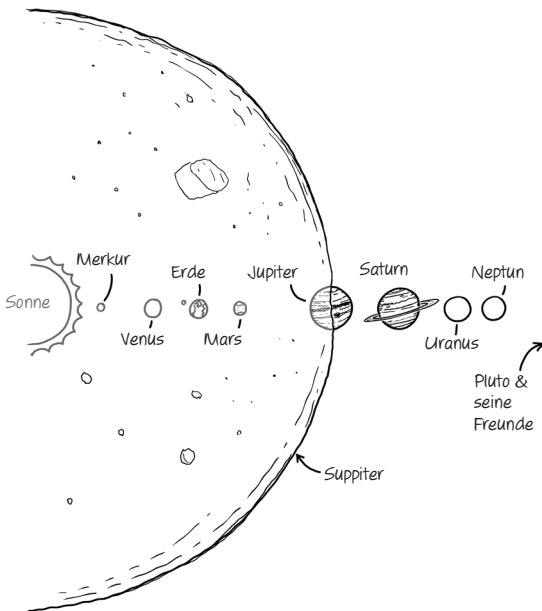


SUPPITER

Was würde passieren, wenn man
das Sonnensystem bis zum Jupiter
mit Suppe füllen würde?

Amelia, 5 Jahre

BITTE SORG DAFÜR, DASS ALLE aus dem Sonnensystem raus und in
Sicherheit sind, bevor du es mit Suppe auffüllst.

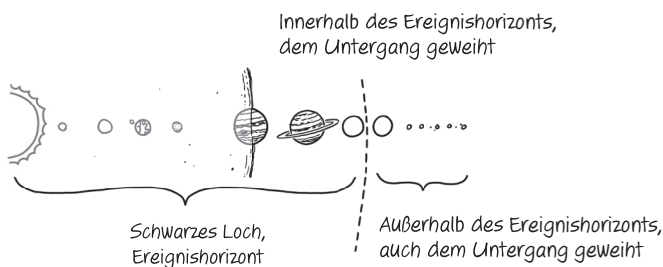


Wenn das Sonnensystem bis zum Jupiter voller Suppe wäre,
wäre für manche Leute für ein paar Minuten vermutlich alles okay.
Dann, für die folgende halbe Stunde, wäre definitiv für niemanden
mehr irgendwas okay. Danach würde die Zeit enden.



Zum Befüllen des Sonnensystems wären etwa 2×10^{39} Liter Suppe nötig. Falls es sich dabei um Tomatensuppe handelt, beläuft sich das auf umgerechnet rund 10^{42} Kalorien – mehr Energie, als die Sonne im Laufe ihrer gesamten Existenz abgegeben hat.

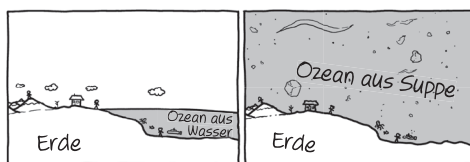
Die Suppe wäre so schwer, dass nichts ihrer gigantischen Anziehungskraft entkommen könnte; sie wäre ein Schwarzes Loch. Der Ereignishorizont dieses Schwarzen Lochs – der Bereich, in dem die Anziehungskraft so stark ist, dass nicht mal Licht entkommen kann – würde sich bis zur Umlaufbahn des Uranus' erstrecken. Pluto läge anfangs noch außerhalb des Ereignishorizonts, was aber nicht heißt, dass er davonkommen würde. Er hätte lediglich noch die Chance, eine Radiobotschaft abzusetzen, bevor er ebenfalls eingesaugt würde.



Wie würde die Suppe von innen aussehen?

Man würde nicht gern auf der Erdoberfläche stehen wollen. Wenn wir davon ausgehen, dass sich die Suppe im Einklang mit den Planeten des Sonnensystems im Kreis dreht, sodass kleine Whirlpools jeden einzelnen Planeten umgeben und die Suppe dort, wo

sie deren Oberflächen berührt, unbewegt ist, dann würde der durch die Erdanziehung bedingte Druck alles und jeden auf dem Planeten binnen Sekunden zermalmen. Die Schwerkraft der Erde ist vielleicht nicht so stark wie die eines Schwarzen Lochs, aber stark genug, um einen Ozean aus Suppe so stark nach unten zu ziehen, dass er uns zermatscht. Schließlich kann der Druck unserer normalen Ozeane aus Wasser unter dem Einfluss der Erdanziehung das auch, und Amelias Suppe ist viel tiefer als der Ozean.



Wenn du dagegen fernab der Erdanziehung zwischen den Planeten durch die Gegend treiben würdest, dann wäre kurzzeitig alles mit dir in Ordnung, was irgendwie schräg ist. Denn selbst wenn die Suppe dich nicht umbrächte, befändest du dich noch immer im Inneren eines Schwarzen Lochs. Müsste man da nicht sofort sterben an ... was-auch-immer?

Seltsamerweise nein! Wenn man einem Schwarzen Loch nahe kommt, reißen die Gezeitenkräfte einen normalerweise in Stücke. Doch die Gezeitenkräfte größerer Schwarzer Löcher sind geringer, und das Schwarze-Jupiter-Suppen-Loch hätte ungefähr ein $1/500$ der Masse der Milchstraße. Das ist – selbst für astronomische Verhältnisse – ein Monster und wäre mit seiner Größe vergleichbar mit den größten uns bekannten Schwarzen Löchern. Amelias sup(p)ermassereiches Schwarzes Loch wäre groß genug, dass die verschiedenen Teile Ihres Körpers in etwa die gleiche Anziehung erfahren würden und Sie deshalb keine Gezeitenkräfte spüren könnten.



Doch selbst wenn Sie nicht in der Lage wären, die Anziehungskraft der Suppe zu *spüren*, würde sie Sie dennoch beschleunigen, und Sie würden unmittelbar anfangen, zum Zentrum hin zu stürzen.

Bereits nach der ersten Sekunde wären Sie 20 Kilometer gefallen und würden sich mit einer Geschwindigkeit von 40 Kilometern pro Sekunde fortbewegen, was schneller ist als die meisten Raumschiffe. Weil die Suppe aber mit Ihnen gemeinsam Richtung Zentrum stürzen würde, hätten Sie trotzdem nicht das Gefühl, dass irgendetwas ungewöhnlich wäre.



Sobald die Suppe zum Zentrum des Sonnensystems hin nach innen kollabieren würde, würde das die Moleküle darin enger zusammenpressen und den Druck steigen lassen. Es würde ein paar Minuten dauern, bis dieser Druck ein derart hohes Niveau erreicht hätte, dass er Sie zerquetscht. Falls Sie sich in einer Art Suppen-Tauchkapsel aufhielten, einem jener Druckbehälter, die die Leute zur Besichtigung von Tiefseegräben verwenden, könnten Sie womöglich sogar 10 oder 15 Minuten durchhalten.

Es gäbe nichts, was Sie tun könnten, um der Suppe zu entkommen. Alles darin würde nach innen, in Richtung der Singularität treiben. Im ganz normalen Universum werden wir alle durch die Zeit nach vorn gezogen, ohne in irgendeiner Weise anhalten oder zurückgehen zu können. Innerhalb des Ereignishorizonts eines Schwarzen Lochs hört die Zeit in gewissem Sinne auf, *vorwärts* zu verlaufen, und beginnt stattdessen, *nach innen* zu fließen. Alle Zeitlinien konvergieren zum Zentrum hin.

Aus der Sicht eines unglückseligen Beobachters im Inneren unseres Schwarzen Lochs würde es ungefähr eine halbe Stunde dauern, bis die Suppe und alles darin zum Zentrum hin stürzen würde. Im Anschluss daran versagt unsere Definition von Zeit – und unser Verständnis der Physik im Allgemeinen.

Außerhalb der Suppe würde die Zeit weiterhin vergehen, und es würde auch weiterhin zu Problemen kommen. Das Schwarze-Suppen-Loch würde nach und nach den Rest des Sonnensystems aufschlürfen, angefangen fast unmittelbar mit Pluto und kurz darauf mit dem Kuipergürtel. Im Verlauf der nächsten paar Tausend Jahre würde das Schwarze Loch eine enorme Schneise durch die Milchstraße schlagen, wobei es Sterne verschlingen und sich weiter in alle Richtungen ausbreiten würde.



Bleibt nur noch eine Frage: Um welche Art von Suppe handelt es sich hier eigentlich?

Falls Amelia das Sonnensystem mit Brühe auffüllt und darin Planeten umhertreiben, handelt es sich dann um eine Planetensuppe? Und wenn bereits Nudeln in der Suppe drin sind, wird sie dadurch zu einer Planeten-Nudelsuppe, oder sind die Planeten eher so etwas wie Croutons? Wenn Sie eine Nudelsuppe kochen und jemand ein paar Steine und etwas Dreck reinrieseln lässt, ist es dann eine Drecknudelsuppe oder einfach nur eine Nudelsuppe, die dreckig wurde? Und macht die Gegenwart der Sonne diese Suppe hier zu einer Sternensuppe?

Im Internet wird gern über die Kategorisierung von Suppen gestritten, doch zum Glück kann die Physik den Streit in diesem besonderen Fall beilegen. Man geht davon aus, dass Schwarze Löcher die Eigenschaften der Materie, die in sie eingehen, nicht aufrechterhalten. Die Physik bezeichnet das als *Keine-Haare-Theorem*, denn es besagt, dass Schwarze Löcher keine Unterscheidungsmerkmale oder spezifischen Eigenschaften haben. Von einer Handvoll einfacher Variablen wie Masse, Rotation und elektrischer Ladung mal abgesehen, sind alle Schwarzen Löcher identisch.

Mit anderen Worten: Es ist völlig egal, welche Zutaten Sie in eine Schwarze-Loch-Suppe werfen – das Ergebnis wird am Ende immer dasselbe sein.

Ober, da ist ein Haar in meiner Suppe.



Unmöglich, Schwarze Löcher haben keine Haare.



HELIKOPTERRITT

Was wäre, wenn man sich mit den Händen am Rotorblatt eines Helikopters festhielte und jemand es versehentlich in Bewegung setzen würde?

Corban Blanset

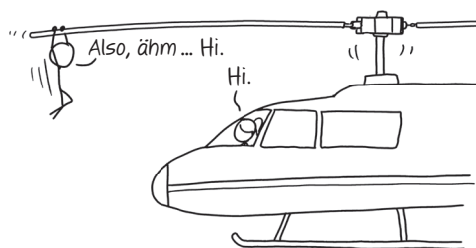
SIE STELLEN SICH JETZT VIELLEICHT EINE coole Actionszene wie diese hier aus dem Kino vor:



Falls es so ist, werden Sie enttäuscht sein, weil das, was tatsächlich passieren würde, eher ungefähr so aussähe:

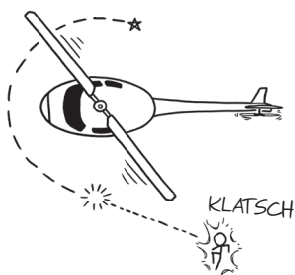
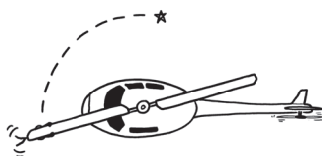
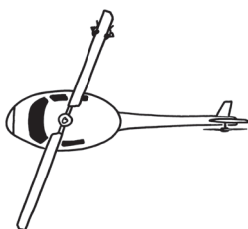


Es dauert eine Weile, bis Helikopterrotoren Geschwindigkeit aufnehmen. Sobald der Rotor sich zu drehen beginnt, braucht er vielleicht 10 oder 15 Sekunden für seine erste vollständige Umdrehung – Sie hätten also bedrückend viel Zeit für einen Blickkontakt mit der Pilotin, bevor Sie außer Sicht rotieren würden.



Zum Glück müssen Sie wahrscheinlich kein zweites Mal am Cockpit vorbeiziehen, weil Sie beschämend schnell runterfallen werden.

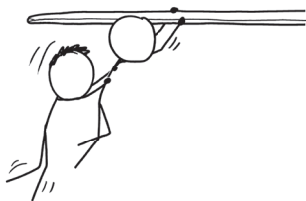
Schon im ruhenden Zustand wäre es schwer genug, sich an der glatten Oberfläche des Rotorblatts festzuhalten. Aber selbst wenn Sie einen bequemen Halt fänden, würden Sie diesen wahrscheinlich verlieren, bevor das Blatt die erste Runde vollendet hat.



Die Rotoren von Helikoptern sind ziemlich groß, weshalb es so aussieht, als ob sie sich langsamer bewegen würden, als es tatsächlich der Fall ist. Wir sind es nicht gewohnt, dass sich große Gegenstände derart schnell im Kreis bewegen. Und es sieht vielleicht ziemlich sanft aus, wenn ein Helikopter auf dem Landeplatz steht und sein Rotor sich langsam dreht, wie ein Mobile, das über einer Babywiege hängend seine Kreise zieht. Doch wenn Sie versuchen würden, sich am äußeren Ende des Rotorblatts festzuhalten, würden Sie feststellen, dass Sie überraschend heftig nach außen geschleudert werden.

Von dem Moment, an dem sich der Rotor zu drehen beginnt, bis zu dem Punkt, an dem er die erste halbe Umdrehung gemacht hat, dürfte es etwa 5 bis 10 Sekunden dauern. Wenn Sie sich weiter festhielten, würden Sie zu diesem Zeitpunkt bereits deutlich nach außen schwingen und durch die Zentrifugalkraft etwa 5 bis 10 Kilo an zusätzlichem Gewicht verspüren. Glücklicherweise befinden sich die meisten Helikopterrotoren nah genug über dem Erdboden, so dass Sie den Sturz wahrscheinlich mit nur kleineren Verletzungen und einem angekratzten Ego überleben würden.

Und wenn Sie es tatsächlich schaffen sollten, noch länger festzuhalten, wird das Ganze sehr schnell schlimmer. Sobald das Blatt eine ganze Umdrehung zurückgelegt hat¹, wird die Zentrifugalkraft sogar noch stärker an Ihnen ziehen als die Schwerkraft und bewirken, dass Sie richtig weit nach außen geschleudert werden. Diese zusätzliche Kraft wäre vergleichbar mit dem Gewicht eines anderen Menschen, der sich an Ihnen festklammert.



¹ Suchen Sie sich unbedingt einen Helikopter mit einer ausreichend großen Lücke zwischen dem Heck- und dem Hauptrotor aus, weil Sie ansonsten wirklich gut darin werden müssen, im richtigen Moment Klimmzüge zu machen.

Doch selbst wenn Ihr Halt richtig gut wäre, hätten Sie mit dem Festhalten vermutlich allergrößte Probleme. Wollten Sie mit dem Rotor einmal komplett im Kreis fliegen, bräuchten Sie irgendeine Art von System, das Ihre Hände am Blatt befestigen würde.

Sind Sie es auch leid, dass Ihnen das jedes Mal passiert, wenn Sie sich am Rotorblatt eines Helikopters festhalten?



Probieren Sie die neuen Handanker der Firma Mustermann



*Handanker der Firma Mustermann:
Wieso würde irgendjemand so was kaufen?®*

Wenn der Rotor weiter in seinem normalen Tempo beschleunigen würde und es Ihnen irgendwie gelänge, weiter daran festzuhalten, dann würden Sie nach der nächsten ganzen Umdrehung fast komplett horizontal nach außen geschleudert werden, während Ihre Hände versuchen müssten, ein Vielfaches Ihres eigenen Körpergewichts zu tragen. Nach 20 Sekunden Festhalten würde es der Rotor auf eine Umdrehung pro Sekunde bringen und Kräfte von mehreren Tonnen auf Ihre Hände ausüben. Nach 30 Sekunden hätten Sie so oder so jeden Halt am Helikopter verloren. Sofern Ihre Hände dann noch immer am Rotorblatt hängen, werden sie nicht mehr an Ihrem Körper befestigt sein.

