



Randall Munroe

WEITERE WIRKLICH WISSENSCHAFTLICHE ANTWORTEN

what if? 2

AUF ABSURDE HYPOTHETISCHE FRAGEN

**Was wäre
wenn?**

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.

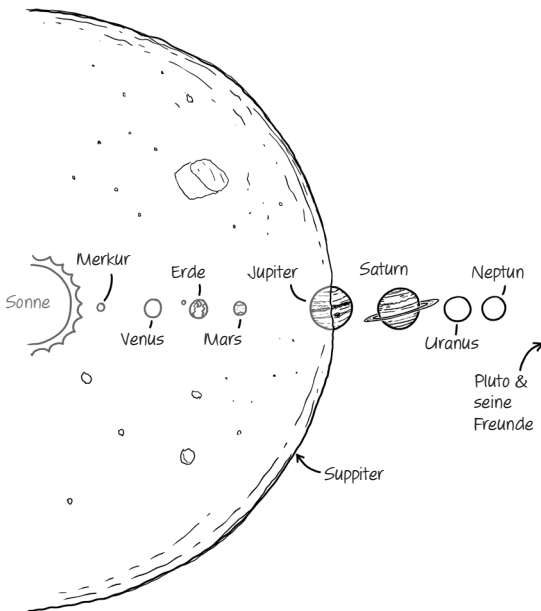


SUPPITER

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.

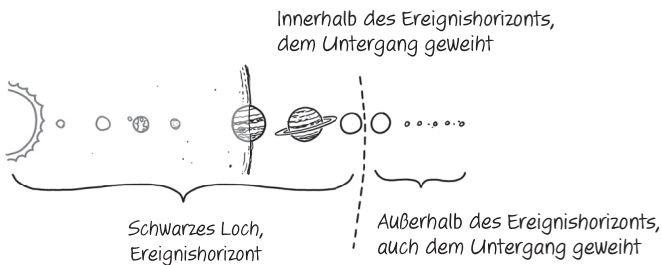


Wenn das Sonnensystem bis zum Jupiter voller Suppe wäre, wäre für manche Leute für ein paar Minuten vermutlich alles okay. Dann, für die folgende halbe Stunde, wäre definitiv für niemanden mehr irgendwas okay. Danach würde die Zeit enden.



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.

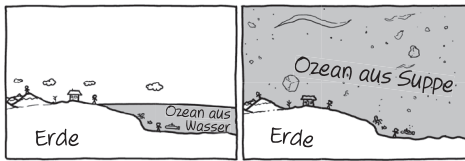
Die Suppe wäre so schwer, dass nichts ihrer gigantischen Anziehungskraft entkommen könnte; sie wäre ein Schwarzes Loch. Der Ereignishorizont dieses Schwarzen Lochs – der Bereich, in dem die Anziehungskraft so stark ist, dass nicht mal Licht entkommen kann – würde sich bis zur Umlaufbahn des Uranus erstrecken. 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.

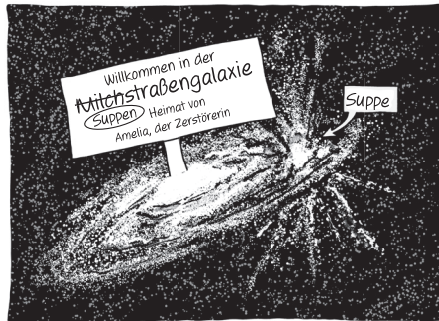


Sobald die Suppe zum Zentrum des Sonnensystems hin nach innen kollabieren würde, würde das die Moleküle darin enger zusammenpressen und den Druck steigen lassen. Es würde ein paar Minuten dauern, bis dieser Druck ein derart hohes Niveau erreicht hätte, dass er Sie zerquetscht. Falls Sie sich in einer 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.



HELIKOPTERRITT

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

Corban Blanset

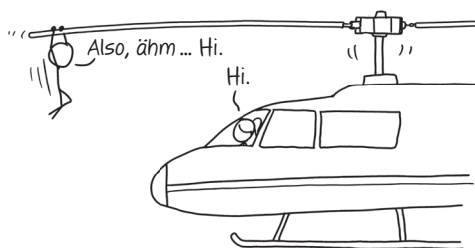
SIE STELLEN SICH JETZT VIELLEICHT EINE coole Actionszene wie diese hier aus dem Kino vor:



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

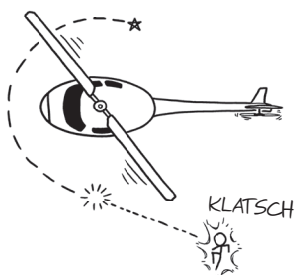
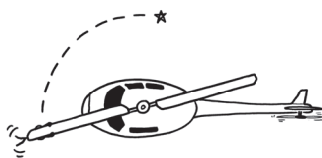
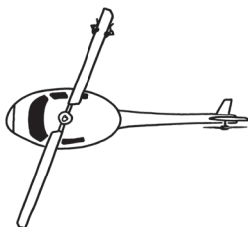


Es dauert eine Weile, bis Helikopterrotoren Geschwindigkeit aufnehmen. Sobald der Rotor sich zu drehen beginnt, braucht er vielleicht 10 oder 15 Sekunden für seine erste vollständige Umdrehung – Sie hätten also bedrückend viel Zeit für einen Blickkontakt mit der Pilotin, bevor Sie außer Sicht rotieren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



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

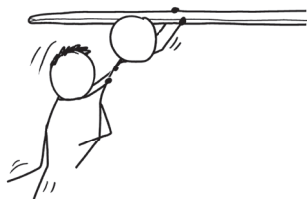
Schon im ruhenden Zustand wäre es schwer genug, sich an der glatten Oberfläche des Rotorblatts festzuhalten. Aber selbst wenn Sie einen bequemen Halt fänden, würden Sie diesen wahrscheinlich verlieren, bevor das Blatt die erste Runde vollendet hat.



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?

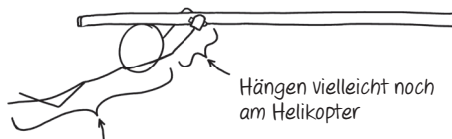


Probieren Sie die neuen Handanker der Firma MUSTERMANN



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.

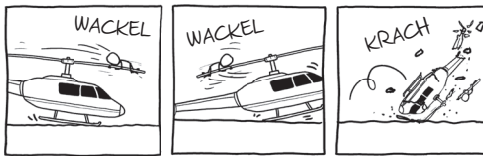


Wird nicht mehr am Helikopter hängen

Diese Erfahrung wird für den Helikopter genauso unangenehm sein wie für Sie. Der Rotor wäre anders als bei einem normalen Startvorgang nicht in der Lage, weiter zu beschleunigen.

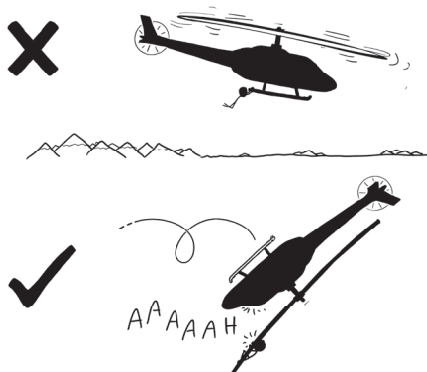
Denn wenn Ihre Hände so viel Kraft erfahren, trifft das schließlich auch auf den Helikopter zu. Der Rotor eines Helikopters ist so gebaut, dass er viele Tonnen Spannung aushalten kann, doch diese Spannung ist minutiös zwischen den Blättern austariert. Wenn das eine Blatt mehr Kraft ausübt als das andere, wird das den Helikopter vor und zurück zerren, ähnlich dem Ruckeln einer schief stehenden Waschmaschine.

Schon ein paar zusätzliche Kilo Gewicht an der Blattbasis können unangenehm starke Vibrationen auslösen (oder neutralisieren). Ein Gewicht von der Größe eines Menschen am Ende eines der Blätter würde dazu führen, dass der Helikopter – noch bevor er Geschwindigkeit aufgenommen hat – einen Salto schlägt und zerschellt.



Jetzt, wo ich darüber nachdenke – das wäre eine super Actionszene für einen Film. Sie kennen sicher diese Szene, wo die Schurkin im Helikopter flieht und der Held losrennt und springt und dann an den Landekufen baumelt.

Wenn der Held die Schurkin wirklich am Abhauen hindern will ... sollte er vielleicht einfach ein bisschen höher zupacken.



GEFÄHRLICH KALT

Wäre es in irgendeiner Weise gefährlich, neben einem großen Gegenstand zu stehen, dessen Temperatur 0 Kelvin beträgt?

Christopher

SIE HABEN ALSO BESCHLOSSEN, einen ultrakalten Eisenwürfel in Ihrem Wohnzimmer aufzustellen.



Zuerst einmal, fassen Sie ihn nicht an. Solange Sie dem Drang widerstehen, ihn anzufassen, werden Sie wahrscheinlich keine unmittelbaren Schäden erleiden.

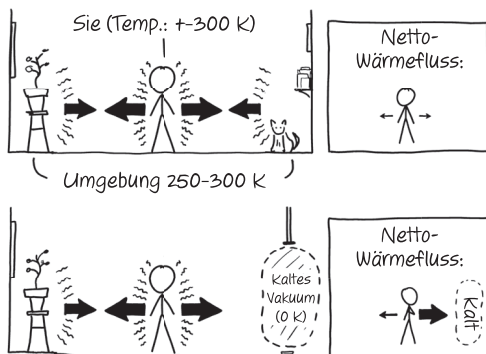
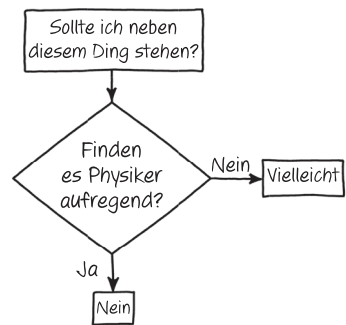


Kalte Dinge und warme Dinge sind verschieden. [Beleg erforderlich] Neben einem heißen Objekt zu stehen, kann einen sehr schnell umbringen – mehr dazu auf praktisch jeder beliebigen Seite dieses

Buches –, während man, wenn man neben einem kalten Ding steht, nicht sofort zu Eis gefriert. Heiße Objekte geben Wärmeenergie ab, durch die die Dinge um sie herum erhitzt werden, doch kalte Objekte geben keine kalte Strahlung ab. Sie liegen einfach nur rum.

Auch wenn etwas keine kalte Strahlung abgibt, kann der *Mangel* an Wärmestrahlung dazu führen, dass Ihnen kalt wird. Ihr Körper strahlt wie jeder andere warme Gegenstand permanent Wärme ab. Zu Ihrem Glück strahlt aber auch alles andere um Sie herum – wie Möbel, Wände und Bäume – *ebenfalls* Wärme ab, sodass jene eingehende Strahlung Ihren Wärmeverlust teilweise ausgleicht. Zimmertemperaturen werden üblicherweise in Celsius oder Fahrenheit gemessen. Wenn wir das Thermometer aber auf Kelvin stellen würden, wäre es offensichtlicher, dass sich die meisten Sachen im Zimmer ungefähr auf demselben absoluten Wärmeniveau bewegen – sie liegen nämlich alle bei 250 oder 300 Kelvin – und sie deshalb alle Wärme abgeben.

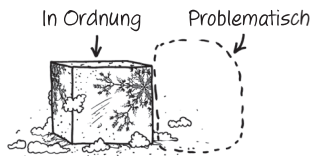
Wenn Sie neben etwas stehen, das sehr viel kälter als Zimmertemperatur ist, wird die Wärme, die Sie in diese Richtung verlieren, nicht durch irgendwelche eingehende Wärme ausgeglichen, sodass diese Seite Ihres Körpers viel schneller kalt wird. Aus Ihrer Sicht fühlt es sich so an, als ob dieser Gegenstand Kälte ausstrahle.



Sie können diese »kalte Strahlung« auch spüren, wenn Sie in einer Sommernacht nach oben zu den Sternen schauen. Weil sich Ihre Körperwärme ins All ergießt, wird sich Ihr Gesicht kalt anfühlen. Wenn Sie dagegen einen Schirm in die Höhe halten, der Ihnen die Sicht auf den Himmel versperrt, wird Ihnen wärmer sein – es ist fast so, als würde der Schirm »die Kälte abhalten«, die aus dem Himmel kommt. Dieser »Kalter-Himmel-Effekt« kann Dinge unter die Temperatur der Umgebungsluft abkühlen. Wenn Sie eine Schale mit Wasser draußen unter klarem Himmel stehen lassen, kann das Wasser selbst bei Temperaturen, die deutlich über dem Gefrierpunkt liegen, über Nacht zu Eis werden.



Wenn Sie neben Ihrem Würfel stehen, wird Ihnen kalt sein, aber auch wieder nicht *so* kalt – ein guter Wintermantel könnte das Problem sofort beheben. Doch bevor Sie jetzt gleich losrennen und sich einen Tieftemperaturwürfel besorgen, müssen wir zunächst mal über Luft sprechen.

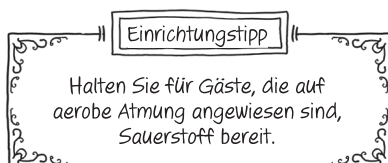


Kalte Objekte können die Luft selbst kondensieren und sorgen dafür, dass sich flüssiger Sauerstoff wie Tau auf ihrer Oberfläche

sammelt. Wenn sie kalt genug sind, können sie Luft sogar fest gefrieren lassen. Ingenieure, die mit kalten Industriearraturen arbeiten, müssen derartige Sauerstoffansammlungen im Auge behalten, weil flüssiger Sauerstoff ziemlich gefährliches Zeug ist. Er ist in hohem Maße reaktionsfreudig und neigt dazu, entzündliche Dinge spontan zu entflammen. Ein richtig kalter Gegenstand kann Ihr Haus in Brand setzen.



Eine der größten Gefahren ultrakalter Materialien besteht darin, dass sie in vielen Fällen gar nicht ultrakalt *bleiben* wollen. Wenn sich flüssiger Stickstoff, oder auch Trockeneis, erwärmt und gasförmig wird, dehnt er sich stark aus und verdrängt oft die normale Luft im Zimmer. Aus einem Eimer voll flüssigem Stickstoff kann so viel Stickstoffgas werden, dass es ein ganzes Zimmer ausfüllt, was eine schlechte Nachricht für alle ist, die Sauerstoff atmen.



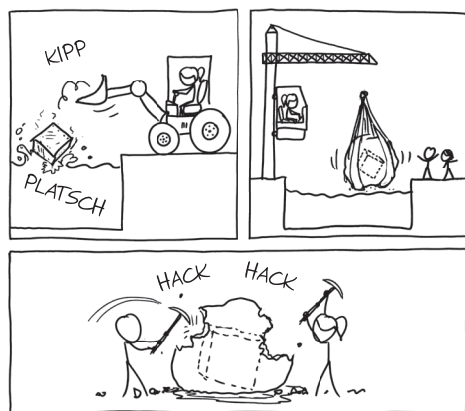
Zum Glück ist Eisen bei Zimmertemperatur fest, weshalb Sie sich keine Sorgen machen müssen, dass Ihr Eisenwürfel verdampft. Solange Sie es schaffen, ihn nicht anzufassen, müssen Sie einfach dafür sorgen, dass jeglicher Sauerstoff auf seiner Oberfläche nicht mit irgendetwas Brennbarem in Kontakt kommt, und außerdem sollten Sie einen Wintermantel tragen, dann wird Ihnen wahrscheinlich nichts passieren.

SIE HABEN ALSO BESCHLOSSEN, dass Sie keinen Tiefkühlwürfel haben wollen

Es wird entsetzlich lange dauern, bis sich der Würfel erwärmt. Er wird einfach tagelang auf Tiefsttemperaturen rumstehen, die Wärme des Zimmers einsaugen und dabei kalt genug bleiben, um die Luft zu gefrieren. Und selbst wenn Sie die Fenster öffnen und die Heizung volle Pulle laufen lassen, um die Umgebungsluft so warm wie möglich zu halten, wird es mindestens eine Woche dauern, bis der Würfel annähernd die Zimmertemperatur erreicht hat.

Sie könnten den Vorgang auch zu beschleunigen versuchen, indem Sie rundherum ein Dutzend Heizlüfter aufstellen – im Beisein eines Elektrikers, weil sonst alle Sicherungen in Ihrem Haus rausfliegen würden –, trotzdem würde es mehrere Tage dauern, bis er sich erwärmt.

Wenn Sie den Würfel gern schneller auftauen würden, könnten Sie versuchen, Wasser darüber zu kippen. Das Wasser würde sich augenblicklich in Eis verwandeln, das Sie abhacken und entsorgen könnten, während ein Teil der Wärme des Wassers im Eisen zurückbleiben würde. Gut möglich, dass ein paar Badewannen voller Wasser nötig wären, aber mit dieser Technik könnten Sie den Würfel schneller auf eine vernünftige Temperatur bringen.



Sobald das Eisen bei Zimmertemperatur angelangt ist, wird es nur noch ein weiterer Gegenstand in Ihrem Haus sein. Doch hoffentlich gefällt er Ihnen da, wo er steht – denn ansonsten dürfte es angesichts der Schwierigkeit, einen glatten, 8 Tonnen schweren Würfel zu bewegen, einfacher sein, wenn *Sie* sich stattdessen bewegen.



Wenn Sie dagegen nicht umziehen möchten und nach einer anderen Möglichkeit suchen, um einen Eisenwürfel loszuwerden, dann können Sie es noch immer damit versuchen, ihm *mehr* Wärme zuzuführen.

Schlagen Sie das nächste Kapitel auf, um herauszufinden, was dann passiert.

EISERNE VERDAMPFUNG

Was wäre, wenn wir auf der Erde auf irgendeine Art und Weise einen massiven Block aus Eisen verdampfen würden?

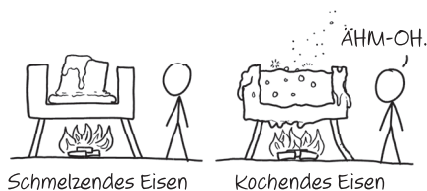
Cooper C.

SIE HABEN ALSO BESCHLOSSEN, einen 1 Meter großen Würfel aus Eisen in Ihrem Garten verdampfen zu lassen.



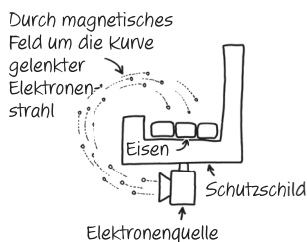
Eisen kann, genau wie alles andere auch, kochen und verdampfen, doch weil sein Siedepunkt so hoch liegt – bei ungefähr 3000 °C –, kommt das im täglichen Leben nicht allzu oft vor.

Um Wasser zu kochen, schüttet man es in einen Topf und erhitzt diesen so lange, bis das Wasser 100 °C erreicht hat. Eisen zu kochen ist komplizierter, weil sich die Frage stellt, woraus der Topf gemacht sein müsste. Der Schmelzpunkt der meisten Metalle liegt unter dem Siedepunkt von Eisen, weshalb man sie nicht als Gefäße für kochendes Eisen verwenden könnte – sie würden schmelzen, bevor das Eisen zu köcheln anfangen würde.



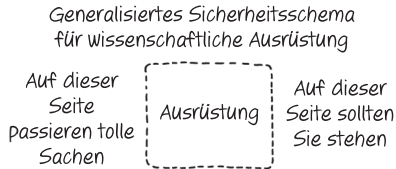
Es gibt ein paar Stoffe, die oberhalb des Siedepunkts von Eisen gerade noch fest bleiben, zum Beispiel Wolfram, Tantal oder Kohlenstoff, sie aber als Gefäße für kochendes Eisen zu benutzen, ist knifflig. In der Praxis ist es schwierig, das Eisen zum Kochen zu bringen und dabei gleichzeitig das Gefäß unter seinem Schmelzpunkt zu halten, und außerdem gibt es da noch ein paar chemische Probleme. Eisen ist in chemischer Hinsicht lästig – sobald es geschmolzen ist, neigt es dazu, mit seinem Gefäß zu reagieren und Legierungen zu bilden.

Wenn die Leute im echten Leben Eisen verdampfen wollen¹, dann platzieren sie es im Allgemeinen nicht einfach über einer Wärmequelle. Sie nutzen dafür entweder induktive Erwärmung, um das Eisen mithilfe elektromagnetischer Felder zu erhitzen, oder Elektronenstrahlen, um es Stück für Stück in kleinen Schritten zu verdampfen. Das Schöne an Elektronenstrahlen ist, dass man ein magnetisches Feld verwenden kann, um den Strahl um die Kurve zu lenken, was dazu führt, dass die wirklich aufregenden und gefährlichen Sachen auf der von Ihrer empfindlichen Ausrüstung abgewandten Seite passieren.



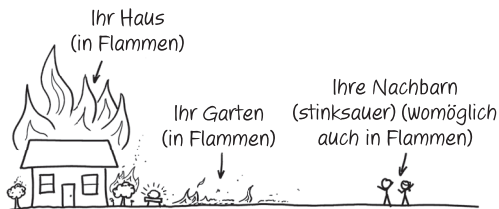
¹ In der Regel, um den Dampf für Metallbeschichtungen zu verwenden, aber manchmal auch einfach aus Boshaftigkeit.

Sie sollten dafür sorgen, dass Sie auf der »Schutzschild-Seite« der Apparatur stehen, weil auf der Seite des verdampfenden Eisens viele energiereiche Partikel davonfliegen werden. Tatsächlich ist »Auf genau der anderen Seite des Ortes stehen, wo die Physik ihren Lauf nimmt« eine gute Faustregel für wissenschaftliche Ausrüstungen.



Sobald Ihre Apparatur zum Verdampfen von Eisen aufgebaut ist, sollten Sie am besten ein paar Schritte zurückgehen, weil zum Verdampfen eines 1 Meter großen Eisenwürfels rund 60 Gigajoule Energie nötig sind. Wenn Sie das Eisen im Laufe von drei Stunden verdampfen, wird Ihre Apparatur insgesamt in etwa die gleiche Wärmemenge freisetzen wie ein lodernder Hausbrand.²

Aber Ihre Frage drehte sich nicht darum, ob wir es überhaupt *tun* könnten. Sie lautete vielmehr, was das Ganze für Folgen hätte – und die Antwort darauf ist ziemlich einfach: Ihr Haus und Ihr Garten würden in Flammen aufgehen. Danach würde die Feuerwehr auftauchen, und viele Leute wären stinksauer auf Sie.

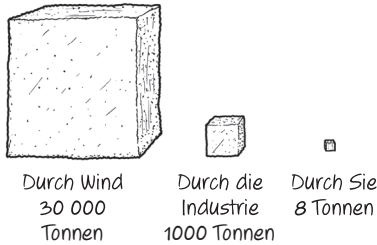


² Wenn Sie dieses Projekt in der Nähe Ihres eigenen Hauses umsetzen, könnte es sogar sein, dass es die Wärmemenge von *zwei* Hausbränden erzeugt.

Die Auswirkungen auf die Atmosphäre sind um einiges interessanter. Sie würden eine 8 Tonnen schwere Dampfwolke aus Eisen an die Atmosphäre abgeben – welchen Schaden würde das Ihrer Umgebung zufügen?

Auf die gesamte Atmosphäre gesehen, hätte das Ganze keinen großen Effekt. Die Luft enthält auch so schon viel Eisen, das meiste davon in Form von Staub, der vom Wind verweht wird. Die Tätigkeiten des Menschen, vor allem das Verfeuern fossiler Brennstoffe, pumpen ebenfalls viel Eisen in die Luft. Im Laufe der drei Stunden, die es dauert, um Ihren 8 Tonnen schweren Eisenwürfel zu verdampfen, werden – ausgehend von den Schätzungen einer Studie von Natalie Mahowald u.a. aus dem Jahr 2009 – Wüstenwinde 30 000 Tonnen Eisen in die Luft wirbeln und Industrieanlagen weitere 1000 Tonnen hinzufügen.

Eisenmenge, die im Zeitraum Ihres Projekts in die Atmosphäre gelangt



Acht Tonnen Eisen haben vielleicht keine Auswirkung auf die Erde an sich, aber was ist mit Ihrer Nachbarschaft? Was würden die Leute in Windrichtung von Ihnen mitbekommen, abgesehen von den Feuerwehrautos? Würden sie aufwachen und feststellen, dass alles von einer Metallschicht bedeckt ist?



Um diese Fragen zu beantworten, habe ich mich mit Dr. Mahowald in Verbindung gesetzt, der Erstautorin der 2009er-Studie und Expertin für den atmosphärischen Transport von Metallen.

Dr. Mahowald erklärte mir, dass Eisen, das in Form einer Wolke aus Eisendampf freigesetzt wird, schnell mit Sauerstoff in der Luft reagieren und zu Eisenoxidteilchen kondensieren würde. Sie sagte: »Eisenoxidpartikel stellen für die Luftqualität keine nennenswerte Gefahr dar«, obwohl es mit Sicherheit schlecht für unsere Lungen wäre, wenn es zu viele davon gäbe. Das liegt nicht unbedingt an irgendwelchen spezifischen Eigenschaften von Eisenoxid – unsere Lungen sind einfach darauf ausgelegt, Luft zu atmen.

Lungen sind dafür gemacht, Luft zu atmen.

*Es gibt nicht viel anderes Zeug, das du
atmen kannst, das gut für dich ist.*



Letztlich würden die Eisenoxidpartikel irgendwo in Windrichtung Ihres Hauses aus der Luft niedergehen, wobei sie aber nicht unbedingt ernsthafte Probleme verursachen würden. »Sie würden wahrscheinlich nichts kaputtmachen«, sagte Dr. Mahowald. »An Land gibt es ohnehin schon eine ordentliche Menge Eisen.« Wenn es allerdings genug davon gäbe, fügte sie hinzu, dann könnte das Eisen sich auf die Vegetation legen wie die Ascheschichten in Windrichtung eines Vulkanausbruchs. Das könnte Ihre Nachbarn und Nachbarinnen verärgern, die deshalb ihr Auto abfeigen müssten.



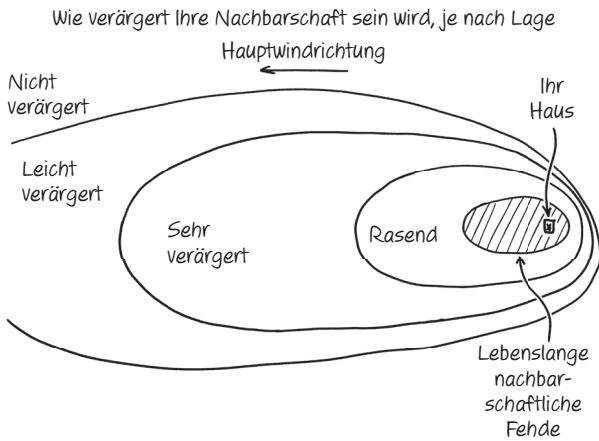
Dr. Mahowald sagte, dass das verdampfte Eisen zum Klimawandel beitragen würde, indem es kleine Mengen Sonnenlicht absorbiert und als Wärme abstrahlt würde. Doch Eisen in der Atmosphäre könnte auch zu einer Verlangsamung des Klimawandels beitragen, indem es die Ozeane düngt und das Wachstum von Algen anregt, die der Atmosphäre CO_2 entziehen. Der US-amerikanische Ozeanograf John Martin stellte im Jahr 1988 bekanntlich – mit seiner besten Imitation einer Superschurkenstimme – die folgende Behauptung auf: »Gebt mir einen halben Tanker voll Eisen, und ich gebe euch eine Eiszeit.«



Dr. Martin wurde nie ein Superschurke ^[Beleg erforderlich] und hat diesen Plan nie weiterverfolgt, aber es ist unwahrscheinlich, dass er funktioniert hätte. Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass das Versenken von Eisen im Meer vermutlich keine effektive Methode ist, um Kohlenstoff aus der Atmosphäre zu ziehen, was nicht nur für Superschurken, die eine Eiszeit heraufbeschwören wollen, sondern auch für Superhelden, die die globale Erwärmung stoppen wollen, irgendwie enttäuschend ist.



Wenn Sie jedoch *wirklich* einen Block aus Eisen und die nötigen Mittel haben, um ihn verdampfen zu lassen, und außerdem Ihr Haus, Ihren Garten und die Gärten Ihrer in Windrichtung wohnenden Nachbarinnen und Nachbarn wirklich hassen, dann gibt es für Ihren Plan ein paar gute Neuigkeiten.

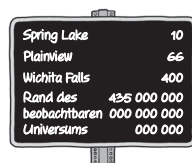


KOSMISCHER ROADTRIP

Wenn das Universum von diesem Moment an nicht mehr expandieren würde, wie lange bräuchte ein Mensch, um mit einem Auto bis zum Rand des Universums zu fahren?

Sam H-H

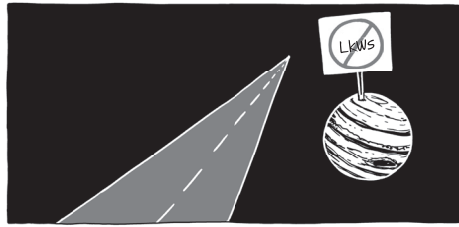
DER RAND DES BEOBACHTBAREN Universums ist rund 435 000 000 000 000 000 000 000 Kilometer oder 270 000 000 000 000 000 000 000 Meilen weit weg.



Spring Lake	10
Plainview	66
Wichita Falls	400
Rand des beobachtbaren Universums	435 000 000 000 000 000

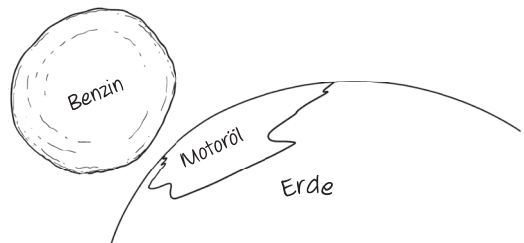
Bei einer konstanten Reisegeschwindigkeit von knapp 105 Kilometern pro Stunde werden Sie 480 000 000 000 000 000 – also $4,8 \times 10^{17}$ – Jahre brauchen, um dort hinzugelangen, oder auch 35 Millionen Mal das aktuelle Alter des Universums.

Es wird ein gefährlicher Roadtrip werden. Ich rede hier nicht von irgendwelchem Weltraumzeug – über all das machen wir uns erst mal keine Gedanken –, sondern davon, dass das Autofahren an sich ziemlich gefährlich ist. Typische Autofahrerinnen und Autofahrer mittleren Alters in den USA haben etwa alle 160 Millionen Kilometer einen tödlichen Unfall. Würde jemand eine Autobahn aus dem Sonnensystem hinaus bauen, würden die meisten Leute hinterm Steuer nicht mal am Asteroidengürtel vorbeikommen. Lkw-Fahrerinnen und -Fahrer sind es gewohnt, lange Strecken auf der Autobahn zurückzulegen, und verfügen über eine niedrigere Unfallrate pro Kilometer als normale Autofahrerinnen und Autofahrer, aber auch sie würden es wahrscheinlich nicht mal bis zum Jupiter schaffen.



Ausgehend von den Unfallzahlen in den USA beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fahrer oder eine Fahrerin 46 Milliarden Lichtjahre ohne einen einzigen Unfall zurücklegt, ungefähr 1 zu $10^{10^{15}}$. Das ist, grob gesagt, genauso wahrscheinlich, wie dass ein Affe mit einer Schreibmaschine die gesamte Bibliothek des US-Kongresses abtippt, und zwar fehlerfrei und *50 Mal hintereinander*. Sie sollten besser ein selbstfahrendes Auto oder zumindest eines von denen mit einem dieser Alarmsysteme nehmen, die Sie warnen, wenn Sie von der Spur abkommen.

Die Reise würde auch eine Menge Sprit kosten. Bei einem Verbrauch von rund 7 Litern auf 100 Kilometer wäre eine mondgroße Kugel aus Benzin nötig, um den Rand des Universums zu erreichen.¹ Sie würden ungefähr 30 Trillionen Ölwechsel durchführen, was einen Motorölbehälter vom Ausmaß des Arktischen Ozeans erfordern würde.²



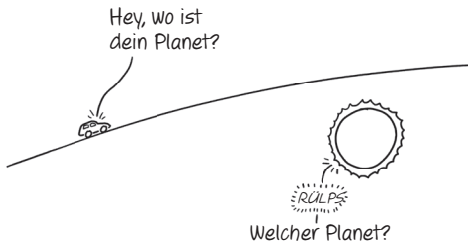
¹ Stand 2021 hat die NASA-Raumsonde *New Horizons* mit einem Budget von rund 805 Millionen Euro ungefähr 8 Milliarden Kilometer zurückgelegt, was sich auf rund 10 Cent pro Kilometer beläuft – das kommt den Kosten für Sprit und Snacks bei einem Roadtrip ziemlich nahe.

² Eine alte Faustregel besagt, dass man das Öl etwa alle 5000 Kilometer wechseln muss, auch wenn sich die meisten Versierten einig sind, dass es sich dabei um einen Mythos handelt – moderne Benzinmotoren können zwischen zwei Ölwechseln gut und gern eine zwei- oder dreimal so große Distanz zurücklegen.

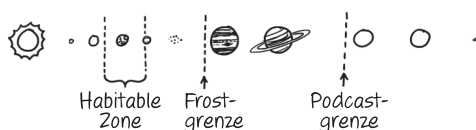
Außerdem würden Sie 10^{17} Tonnen Snacks brauchen. Wollen wir hoffen, dass es viele intergalaktische Raststätten gibt, weil Ihr Kofferraum sonst ziemlich voll wäre.



Es wird eine sehr lange Fahrt werden, bei der sich die Landschaft fast gar nicht verändert. Bevor Sie überhaupt die Milchstraße hinter sich lassen, werden die meisten sichtbaren Sterne bereits erloschen sein. Wenn Sie Lust haben, einen auf Zimmertemperatur abgekühlten Stern zu berühren (um herauszufinden, wie das wäre, siehe »Auf der Sonne spazieren«), schlage ich vor, Ihre Route so zu planen, dass sie Sie an Kepler-1606 vorbeiführt. Er ist 2800 Lichtjahre entfernt und wird sich auf angenehme Zimmertemperatur abgekühlt haben, wenn Sie nach 30 Milliarden Jahren an ihm vorbeifahren. Er hat aktuell sogar einen Planeten, den er allerdings wahrscheinlich längst verschlungen haben wird, wenn Sie dort ankommen.



Wenn die Sterne erst einmal erloschen sind, werden Sie sich eine andere Form der Unterhaltung suchen müssen. Aber selbst wenn Sie jedes Hörbuch und jede einzelne Folge aller Podcasts mitbringen, die jemals aufgenommen wurden, wird Ihnen das nicht einmal bis zum Rand des Sonnensystems reichen.



Der britische Anthropologe und Psychologe Robin Dunbar hat bekanntlich behauptet, dass jeder Mensch im Durchschnitt rund 150 soziale Kontakte unterhält. Die Gesamtzahl aller Menschen, die jemals gelebt haben, liegt irgendwo über 100 Milliarden. Ein 10^{17} -jähriger Roadtrip würde lang genug dauern, um das Leben von jedem einzelnen dieser Menschen in Echtzeit – in einer Art ungekürzter Dokumentation – abzuspielen und sich jede einzelne all dieser Dokumentationen dann *noch mal* 150 Mal anzuschauen, und das jedes Mal mit einer anderen Kommentarspur der 150 Leute, die das Subjekt am besten gekannt haben.

Wer ist als Nächstes dran?

Leopold, geboren 1833 in Ungarn, mit einem Kommentar von Maria, einer Kindheitsfreundin, die irgendwann mal einen Stein nach ihm geworfen hat.

Schon wieder jemand aus seiner Kindheit? Na toll, noch ein 75 Jahre langer Kommentar über Leos langweiliges Leben von jemandem, der die meiste Zeit nicht mal dabei war.

Jaja, aber erinnerst du dich an die Folge mit Maria? Sie ist urkomisch, deshalb wird es bestimmt lustig.



Und wenn Sie mit dieser umfassenden Dokumentation der menschlichen Perspektive irgendwann einmal fertig wären, hätten Sie trotzdem erst weniger als 1 Prozent des Weges zum Rand des Universums zurückgelegt und deshalb ohne Ende Zeit, sich das ganze Projekt – jedes einzelne menschliche Leben mit allen 150 zugehörigen Kommentarspuren – noch einmal anzuschauen, und zwar 100 Mal, bevor Sie endlich am Ziel ankämen.

Wenn Sie den Rand des beobachtbaren Universums erst einmal erreicht hätten, könnten Sie weitere $4,8 \times 10^{17}$ Jahre mit der Heimreise zubringen, doch weil dann sowieso keine Erde zum Zurückkommen mehr da sein wird – es werden nur noch Schwarze Löcher und gefrorene Sternenhüllen übrig sein –, können Sie genauso gut auch weiterfahren.

Soweit wir wissen, ist der Rand des beobachtbaren Universums nicht der Rand des tatsächlich existierenden Universums. Es ist einfach der am weitesten entfernte Punkt, den zu sehen wir in der Lage sind, weil die Zeit nicht ausgereicht hat, dass uns das Licht von irgendwelchen weiter entfernten Orten des Universums erreicht. Es gibt keinen Grund zu denken, dass der Weltraum selbst an jenem spezifischen Punkt endet, aber wir wissen auch nicht, wie viel weiter er reicht. Er könnte auch einfach für immer und ewig weitergehen. Der Rand des beobachtbaren Universums ist zwar nicht der Rand des Weltraums, aber das Ende der Karte. Es ist unmöglich zu sagen, worauf man stoßen wird, wenn man diesen Punkt hinter sich lässt.

Am besten packen Sie noch ein paar Snacks mehr ein.



TAUBENSTUHL

Wie viele Tauben wären nötig,
um eine Durchschnittsperson und einen
Flugstuhl bis zur Spitze des Q1 Tower
in Australien zu heben?

Nick Evans

KAUM ZU GLAUBEN, ABER DIE WISSENSCHAFT kann diese Frage beantworten.



In einer von Ting Ting Liu geleiteten Studie der Universität Nanjing für Luft- und Raumfahrt von 2013 trainierten Forschende Tauben darin, mit einem beschwerten Harnisch am Körper auf eine Sitzstange zu fliegen. Sie fanden heraus, dass eine Durchschnittstaube mit 124 Gramm Last – rund 25 Prozent ihres Körpergewichts – abheben und nach oben fliegen konnte.

Die Forschenden stellten fest, dass die Tauben besser fliegen konnten, wenn das Gewicht mit einer Schlinge unter ihrem Körper befestigt war als auf ihrem Rücken, weshalb es vermutlich besser wäre, wenn die Tauben Ihren Stuhl von oben anheben würden, als ihn von unten zu tragen.