



BEVOR RANDALL MUNROE, geboren 1984, den Webcomic *xkcd* erfand, war er Roboteringenieur bei der NASA. Seine Bücher *What if? Was wäre wenn?* und *Der Dinge-Erklärer* wurden internationale Bestseller. Munroe lebt in Cambridge, Massachusetts.

What if in der Presse:

»Intelligent, lustig, komisch und einfach total cool.«
Discover Magazine

Besuchen Sie uns auf www.penguin-verlag.de
und Facebook.



RANDALL MUNROE

what if?

Was wäre wenn?



Aus dem Amerikanischen
von Ralf Pannowitsch



PENGUIN VERLAG

Die amerikanische Originalausgabe erschien 2014
unter dem Titel *What if*
bei Houghton Mifflin Harcourt Publishing, 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.

Songtexte aus »If I didn't have you« © by Tim Minchin.
Mit freundlicher Genehmigung von Tim Minchin.



Verlagsgruppe Random House FSC® N001967



PENGUIN und das Penguin Logo sind Markenzeichen
von Penguin Books Limited und werden
hier unter Lizenz benutzt.

10. Auflage

Copyright © 2014 xkcd.com

Copyright © der deutschsprachigen Ausgabe 2016 by

Albrecht Knaus Verlag, München,

Neumarkter Straße 28, 81673 München

Umschlag: any.way Grafik Partner, nach Entwürfen
von Patrick Barry & Sabine Kwauka

Umschlagmotiv: Randall Munroe

Satz: Uhl + Massopust, Aalen

Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck

Printed in Germany

ISBN 978-3-328-10031-7

www.penguin-verlag.de

 Dieses Buch ist auch als E-Book erhältlich.



DIE FRAGEN

Einführung	9	Seltame (und beunruhigende) Fragen # 2	76
Globaler Sturm	11	Das letzte Licht der Menschheit	77
Zufallsniesanruf	18	Machinengewehr-Jetpack	86
Abklingbecken	21	Stetiger Aufstieg	93
Seltame (und beunruhigende) Fragen # 1	25	Seltame (und beunruhigende) Fragen # 3	98
Eine New Yorker Zeitmaschine	26	U-Boot im Weltall	99
Seelenverwandte	36	Abteilung für Kurzantworten	104
Laserpointer	42	Blitze	110
Die Periodenwand der Elemente	52	Seltame (und beunruhigende) Fragen # 4	117
Alle Welt hüpf	62		
Föhn	67		



Der menschliche Computer	118	Seltsame (und beunruhigende) Fragen # 7	186
Kleiner Planet	126	Selbstbefruchtung	187
Steakabwurf	131	Hochwurf	198
Eishockeypuck	137	Tödliche Neutrinos	204
Erkältungswelle	140	Seltsame (und beunruhigende) Fragen # 8	209
Das halb leere Glas	146	Bremshubbel	210
Seltsame (und beunruhigende) Fragen # 5	152	Unsterbliche Irrläufer	216
Ausserirdische Astronomen	153	Orbitalgeschwindigkeit	221
DNA spurlos verschwunden	158	Die Datentransferrate von FedEx	227
Interplanetarische Cessna	165	Freier Fall	230
Seltsame (und beunruhigende) Fragen # 6	172	Seltsame (und beunruhigende) Fragen # 9	235
Yoda	173	Sparta	236
Luftballon statt Fallschirm	177	Die Ozeane trockenlegen # 1	241
Alle Mann raus!	181	Die Ozeane trockenlegen # 2	248

Twitter	255	Beim Teeumrühren	309
Lego-Brücke	260	Alle Blitze der Welt	314
Längster Sonnen- untergang	267	Der einsamste Mensch	319
Relativistischer Baseball	273	Seltsame (und beun- ruhigende) Fragen # 11	323
Seltsame (und beun- ruhigende) Fragen # 10	277	Der Regentropfen	324
Die Erde dehnt sich aus	278	Neutronenkugel	329
Schwerelosiger Pfeil	287	Seltsame (und beun- ruhigende) Fragen # 12	339
Erde ohne Sonne	291	Richter 15	340
Wikipedia-Druckversion	295	Dank	347
Das Facebook der Toten	299	Quellenverzeichnis	349
Sonnenuntergang über dem britischen Empire	305		



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.

EINFÜHRUNG

DIESES BUCH ist eine Sammlung von Antworten auf hypothetische Fragen.

Sie erreichten mich über meine Website, wo ich nicht nur als eine Art Dr. Sommer-Team für verrückte Wissenschaftler diene, sondern auch xkcd zeichne, einen Webcomic mit Strichmännchen.

Ich war nicht immer Comiczeichner. Zuerst habe ich Physik studiert und nach meinem Abschluss bei der NASA im Bereich Robotertechnik gearbeitet. Irgendwann habe ich die NASA verlassen, um den ganzen Tag lang Comics zeichnen zu können; mein Interesse an Naturwissenschaften und Mathematik hat aber nicht abgenommen. Schließlich hat es ein neues Ventil gefunden: Ich beantworte seltsame (und manchmal beunruhigende) Fragen aus dem Netz. Dieses Buch enthält eine Auswahl meiner Lieblingsantworten von der Website und dazu noch einen Packen neuer Fragen, die hier zum ersten Mal behandelt werden.

So lange ich zurückdenken kann, habe ich mit Mathe alle möglichen merkwürdigen Fragen beantwortet. Als ich fünf war, hat meine Mutter ein Gespräch mit mir notiert und in einem Fotoalbum aufbewahrt. Als sie erfuhr, dass ich dieses Buch schreiben würde, kramte sie es hervor und schickte es mir. Hier ist es – wortgetreu reproduziert von einem 25 Jahre alten Blatt Papier:

Randall: Gibt es in unserem Haus mehr weiche oder mehr harte Sachen?

Julie: Weiß ich nicht.

Randall: Und auf der ganzen Welt?

Julie: Weiß ich nicht.

Randall: Jedes Haus hat doch drei oder vier Kissen, nicht wahr?

- Julie:** Richtig.
- Randall:** Und jedes Haus hat ungefähr
15 Magnete, oder?
- Julie:** Ich vermute mal.
- Randall:** Also, 15 plus 3, oder sagen wir mal 4,
das ist 19, stimmt's?
- Julie:** Stimmt.
- Randall:** Also gibt es wahrscheinlich etwa
3 Milliarden weiche Dinge und ...
5 Milliarden harte. Also, wovon gibt
es mehr?
- Julie:** Ich nehme mal an, von den harten.

Bis heute habe ich keine Idee, wie ich auf »3 Milliarden« und »5 Milliarden« gekommen bin. Ich wusste ganz bestimmt noch nicht, wie Zahlen wirklich funktionieren.

Meine Mathekenntnisse sind mit den Jahren etwas besser geworden, aber ich greife immer noch aus demselben Grund zur Mathematik wie als Fünfjähriger: Ich möchte Fragen beantworten.

Man sagt, es gäbe keine dummen Fragen. Das ist ganz offensichtlich falsch; meine Frage zu den harten und weichen Dingen war zum Beispiel echt blöd. Aber wie sich herausstellt, kann es uns zu wirklich Aufregendem führen, wenn wir versuchen, eine dumme Frage gründlich und vollständig zu beantworten.

Ich weiß immer noch nicht, ob es auf der Welt mehr harte oder mehr weiche Dinge gibt, aber im Laufe der Jahre habe ich eine Menge anderes Zeug gelernt. Die folgenden Seiten sind meine Lieblingsetappen dieser Reise.

Randall Munroe

GLOBALER STURM

Was wäre, wenn sich die Erde
und alles auf ihr plötzlich
nicht mehr drehen würde,
die Atmosphäre aber ihre
Geschwindigkeit beibehielte?

Andrew Brown

SO ZIEMLICH JEDER würde sterben. *Danach* würde es erst richtig interessant werden.

Am Äquator bewegt sich die Erdoberfläche – auf die Drehachse bezogen – mit etwa 470 Metern pro Sekunde (das sind rund 1700 km/h). Würde die Erde stehen bleiben, die Luft aber nicht, dann würde sofort ein Wind mit obengenannter Geschwindigkeit wehen.

Am stärksten wäre dieser Wind um den Äquator herum, aber zwischen dem 42. Grad nördlicher Breite und dem 42. Grad südlicher Breite – also in einem Gebiet, in dem rund 85 Prozent der Weltbevölkerung leben – würde jeder und alles plötzlich Winde mit Überschallgeschwindigkeit erleben.

Die heftigsten Winde würden in Oberflächennähe nur ein paar Minuten anhalten; die Reibung mit dem Boden würde sie bald bremsen. Dennoch würde das ausreichen, um fast alles, was der Mensch gebaut hat, in Trümmer zu legen.



- Hier passieren schreckliche Dinge.
- Hier passieren schreckliche Dinge, aber langsamer.

Mein Haus in Boston liegt so weit nördlich, dass es sich gerade außerhalb der Zone mit den Überschallwinden befindet, und doch wären die Stürme dort noch doppelt so stark wie bei den heftigsten Tornados. Alle Gebäude – vom Schuppen bis zum Wolkenkratzer – würden plattgedrückt und aus ihren Fundamenten gerissen. Die Reste würden quer durchs Land trudeln.

In Polnähe wären die Winde schwächer, aber keine Stadt liegt weit genug vom Äquator entfernt, um der Verwüstung zu entgehen. Longyearbyen auf der norwegischen Insel Spitzbergen (die auf dem nördlichsten Breitengrad gelegene Stadt der Welt) würde von Winden heimgesucht, die so heftig wären wie die stärksten tropischen Zyklone.

Wenn man das irgendwo aussitzen will, könnte einer der besten Orte dafür Helsinki sein. Obwohl die Stadt trotz ihrer Lage (mehr als 60° N) fortgefegt würde, gibt es im Fels unter Helsinki ein ausgeklügeltes Netzwerk von Tunneln, eine unterirdische Einkaufsmeile, eine Eishockeyhalle, Schwimmbäder und mehr.



Kein Gebäude wäre sicher, und selbst Konstruktionen, die den Wind eigentlich aushalten müssten, kämen in Schwierigkeiten. Wie schon der Komiker Ron White zum Thema Hurrikane sagte – »Das Problem ist nicht, *dass* der Wind umherwirbelt; das Problem ist, *was* der Wind umherwirbelt.«

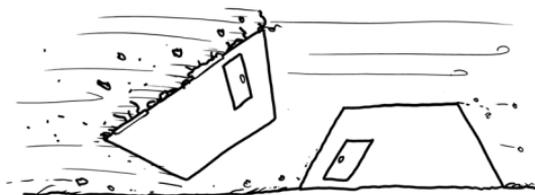
Nehmen wir an, wir sitzen in einem massiven Bunker, der aus einem Material gebaut ist, das Stürme von 1700 km/h aushält.

Dann baute sich das 92. Schweinchen
ein Haus aus abgereichertem Uran.

Und der Wolf: »Alter.«



Feine Sache; wir wären sicher – sofern wir die Einzigen mit einem Bunker sind. Unglücklicherweise haben wir aber wahrscheinlich Nachbarn, und wenn unser windseitiger Nachbar einen weniger gut verankerten Bunker hat, wird unser Bunker es aushalten müssen, dass der andere mit 1700 km/h auf ihn knallt.



Die Menschheit würde nicht aussterben.¹ Alles in allem würden aber nur sehr wenige Menschen auf der Erdoberfläche überleben; die herumfliegenden Trümmer würden alles, was nicht gerade strahlungsgehärtet ist, pulverisieren. Aber unter der Erdoberfläche könnten eine Menge Leute ganz gut überleben. Sollten Sie sich,

¹ Jedenfalls nicht sofort.

wenn es passiert, gerade in einem Kellergeschoss (oder besser noch in einem U-Bahntunnel) befinden, hätten Sie also gute Überlebenschancen.

Es gäbe sogar noch andere glückliche Überlebende. Dutzende Wissenschaftler und Mitarbeiter auf der Amundsen-Scott-Station am Südpol würden von den Winden verschont bleiben. Für sie wäre das erste Zeichen einer Störung, dass die Außenwelt plötzlich ganz still wird.

Die mysteriöse Stille würde sie wahrscheinlich eine Weile ablenken, aber schließlich würde jemand etwas noch Seltsameres bemerken:

Die Sonne bewegt sich nicht.

Oh, bestimmt dreht sich die Erde nicht mehr, und alles ist in einem weltweiten Sturm kaputtgegangen.

So was finde ich echt Scheiße.

Ich trete mal dagegen, vielleicht springt sie ja wieder an.



Die Luft

Wenn die Bodenwinde dann nachgelassen haben, wird es noch gruseliger.

Die Sturmwalze würde sich in eine Feuerwalze verwandeln. Normalerweise ist die kinetische Energie von brausendem Wind so gering, dass man sie vernachlässigen kann. Hier haben wir es allerdings mit keinem gewöhnlichen Wind zu tun. Er kommt unter Turbulenzen zum Stehen und die Luft heizt sich dabei auf.

Auf dem Festland würde das zu sengenden Temperaturen führen, und in Gebieten mit feuchter Luft würden sich weltumspannende Gewitter bilden.

Gleichzeitig würde der über die Ozeane fegende Wind die Oberflächenschicht des Wassers aufwühlen und zerstäuben. Für eine

Weile hätte der Ozean dann gar keine Oberfläche mehr; man könnte nicht mehr sagen, wo die Gischt endet und das Meer anfängt.

Ozeane sind *kalt*. Unter der dünnen Oberflächenschicht beträgt ihre Temperatur ziemlich einheitlich 4°C. Der Sturm würde kaltes Wasser aus den Tiefen aufwirbeln. Das Einströmen kalter Gischt in die überheizte Luft würde eine Art von Wetter erzeugen, wie man es auf der Erde noch nie gesehen hat – einen tosenden Mix aus Wind, Gischt, Nebel und raschen Temperaturänderungen.

Das Aufsteigen des Tiefenwassers würde eine wahre Fruchtbarkeitsexplosion verursachen, weil frische Nährstoffe in die oberen Schichten fluten. Gleichzeitig würde es jedoch zu einem großen Sterben unter Fischen, Krabben, Meeresschildkröten und anderen Tieren führen, die mit dem Einströmen sauerstoffarmen Wassers aus der Tiefe nicht zurechtkommen. Jedes Tier, das atmen muss – also beispielsweise auch Wale und Delphine –, hätte am turbulenten Übergang zwischen Meer und Luft Probleme zu überleben.

Die Wellen würden von West nach Ost um den Globus rauschen, und alle Ostküsten würden die größte Sturmflut der Weltgeschichte erleben. Eine blendende Gischtwolke würde über das Festland schießen, und hinter ihr würde sich eine wirbelnde, aufgewühlte Wasserwand wie ein Tsunami vorwärtsbewegen. An manchen Orten würden die Wellen viele Kilometer landeinwärts vordringen.

Die Unwetter würden große Mengen Staub und Trümmerteilchen in die Atmosphäre spritzen. Gleichzeitig würde sich über den kalten Ozeanoberflächen eine dichte Nebeldecke bilden. Normalerweise ließe das die Temperaturen weltweit absacken. Und genau das würden sie auch tun.

Zumindest auf einer Seite der Erde.

Wenn sich die Erde nicht mehr dreht, endet der normale Zyklus von Tag und Nacht. Die Sonne würde nicht völlig aufhören, sich am Himmel zu bewegen, aber statt einmal täglich auf- und unterzugehen, würde sie das nur noch einmal *pro Jahr* tun.

Tag und Nacht wären jeweils sechs Monate lang, sogar am Äquator. Auf der Tagseite würde die Erdoberfläche im beständi-

gen Sonnenlicht braten, während die Temperaturen auf der Nachtseite abstürzten. Der Wärmeaustausch würde in den Bereichen, die direkt unter der Sonne liegen, zu heftigen Stürmen führen.²

Wenn der Tag-Nacht-Zyklus
futsch ist, wann flütere ich
dann diese Gremlins?



In gewisser Weise würde die Erde dann einem dieser Exoplaneten mit gebundener Rotation ähneln, wie man sie gewöhnlich in der habitablen Zone eines Roten Zwerges antrifft. Ein noch besserer Vergleich könnte die Venus in einem sehr frühen Stadium sein. Aufgrund ihrer Rotation wendet die Venus – ganz wie unsere angehaltene Erde – monatelang der Sonne dieselbe Seite zu. Allerdings zirkuliert ihre dicke Atmosphäre sehr schnell, so dass Tag- und Nachtseite ungefähr dieselbe Temperatur haben.

Die Länge eines Tages würde sich also verändern, die Länge eines Monats aber gar nicht! Der Mond hat ja nicht damit aufgehört, um die Erde zu rotieren. Wenn allerdings die Erdrotation seine Gezeitenenergie nicht mehr speist, würde der Mond nicht länger von der Erde wegdriften (das macht er derzeit nämlich), sondern langsam wieder auf uns zutreiben.

Unser treuer Gefährte Mond würde zu Hilfe eilen, um den von Andrew angerichteten Schaden wieder auszubügeln. Derzeit dreht sich die Erde schneller als der Mond, und unsere Gezeiten verlangsamen die Erdrotation, während sie gleichzeitig den Mond von uns wegschieben.³ Würde sich unser Planet nicht mehr drehen, dann würde auch der Mond nicht länger von uns wegdriften. Statt uns zu

² Allerdings würde auch keine Corioliskraft mehr wirken, und ob sich die Luftmassen im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn bewegen, können wir nur raten.

³ Warum das passiert, wird in »Leap Seconds«, <http://what-if.xkcd.com/26>, erläutert.

verlangsamen, würden seine Gezeitenkräfte unsere Drehbewegung wieder beschleunigen. Ganz langsam, ganz sachte würde die Gravitationskraft des Mondes an unserem Planeten ziehen ...



... und die Erde würde sich wieder drehen.



ZUFALLSNIESANRUF

Wenn man eine zufällige Nummer wählt und »Gesundheit!« sagt, wie hoch ist dann die Wahrscheinlichkeit, dass der Angerufene tatsächlich gerade geniest hat?

Mimi

ES IST SCHWER, gutes Zahlenmaterial dafür zu finden, aber vermutlich liegt sie etwa bei 1:40 000.



Ehe Sie den Hörer in die Hand nehmen, sollten Sie auch bedenken, dass die Person, bei der Sie anrufen, mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 1:1 000 000 000 gerade jemanden umgebracht hat.¹ Vielleicht möchten Sie da lieber vorsichtiger mit Ihren guten Wünschen sein.

Da Niesen aber weitaus häufiger vorkommt als Mord², werden Sie trotzdem viel wahrscheinlicher jemanden an den Apparat be-

¹ Berechnet auf Grundlage einer Mordrate von 4:100 000, was in den USA ganz durchschnittlich ist – aber der Spitzenwert aller Industrienationen.

² Beleg: Sie sind noch am Leben.

kommen, der gerade geniess hat, als dass Sie einen Killer erwischen. Von folgender Strategie wird daher abgeraten:



Zur Erinnerung: Das sage ich jetzt immer, wenn jemand niest.

Verglichen mit der Mordrate, wird die Niesrate wissenschaftlich kaum erforscht. Die am häufigsten zitierte Zahl für die durchschnittliche Nieshäufigkeit stammt von einem Arzt, der von ABC News interviewt wurde. Er sprach dort von 200 Niesern pro Person und Jahr.

Eine der wenigen wissenschaftlichen Quellen für Niesdaten ist eine Studie, die beobachtete, wie die Leute bei einer absichtlich herbeigeführten allergischen Reaktion niesten. Um die durchschnittliche Niesrate abzuschätzen, können wir über alle medizinischen Werte, die dabei gesammelt wurden, hinwegsehen und stattdessen nur auf die Kontrollgruppe schauen. Die Personen aus dieser Gruppe wurden überhaupt keinen allergieauslösenden Stoffen ausgesetzt; sie saßen einfach nur allein in einem Raum herum, und zwar insgesamt für 176 Durchgänge zu je 20 Minuten.³

Die Testpersonen in der Kontrollgruppe niesten im Laufe dieser etwa 58 Stunden vier Mal⁴, was aufs Jahr gerechnet ungefähr 400 Nieser pro Person sind (wir nehmen mal an, dass man im Schlaf nicht niest).

³ Nur um mal die Relationen zu veranschaulichen: Das ist 490 Mal hintereinander *Hey Jude*.

⁴ Diese vier Nieser waren das interessanteste Ergebnis aus 58 Stunden Forschung. Ich hätte mir vielleicht lieber 490 Mal *Hey Jude* angehört.

Für 2012 führt die Suchmaschine *Google Scholar* 5980 Aufsätze an, in denen das Wort »niesen« vorkommt. Wenn die Hälfte dieser Aufsätze aus den USA sind und jeder im Durchschnitt vier Autoren hat, erwischen Sie bei einem Zufallsanruf mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa $1:10\,000\,000$ jemanden, der genau an diesem Tag einen Aufsatz zum Niesen veröffentlicht hat.

Andererseits kommen in den USA jährlich ungefähr 60 Menschen durch Blitzschlag ums Leben. Das bedeutet, dass Sie nur mit einer Wahrscheinlichkeit von $1:10\,000\,000\,000\,000$ jemanden anrufen werden, der in den letzten 30 Sekunden vom Blitz getroffen und getötet wurde.



Zuletzt nehmen wir an, dass am Erscheinungstag dieses Buches fünf seiner Leser beschließen, das Experiment tatsächlich durchzuführen. Wenn sie den ganzen Tag über beliebige Nummern anrufen, gibt es eine Wahrscheinlichkeit von $1:30\,000$, dass sie irgendwann an diesem Tag das Besetztzeichen hören, weil die Person, bei der sie anrufen, auch gerade einen beliebigen Fremden anruft, um ihm »Gesundheit!« zu wünschen.

Und es gibt sogar eine Wahrscheinlichkeit von etwa $1:10\,000\,000\,000\,000$, dass sie sich beide gleichzeitig anrufen.



An diesem Punkt streckt die Wahrscheinlichkeit dann vollends ihre Waffen, und beide Anrufer werden vom Blitz getroffen.

ABKLINGBECKEN

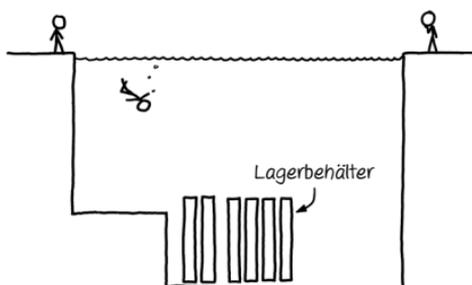
Was würde passieren, wenn ich in ein Abklingbecken für verbrauchte Brennelemente springen würde? Müsste ich tauchen, um eine tödliche Strahlendosis abzubekommen? Wie lange wäre ich an der Oberfläche sicher?

Jonathan Bastien-Filiatrault

FALLS SIE EIN EINIGERMASSEN guter Schwimmer sind, könnten Sie wahrscheinlich zwischen 10 und 40 Stunden über Wasser bleiben – wo auch immer. Danach würden Sie vor Erschöpfung ohnmächtig werden und ertrinken. Das passiert auch in einem Schwimmbecken ohne nukleare Brennelemente.

Verbrauchte Brennelemente aus Atomreaktoren sind hoch radioaktiv. Wasser eignet sich sowohl zum Abschirmen der Strahlung als auch zum Kühlen, und so lagert man die Brennelemente einige Jahrzehnte lang am Grunde von Abklingbecken – so lange, bis sie inaktiv genug geworden sind, um in Trockenbehälter gesteckt zu werden. Wir haben uns noch nicht wirklich darauf geeinigt, wohin wir diese Fässer bringen sollen. Irgendwann sollten wir dafür vielleicht mal eine Lösung finden.

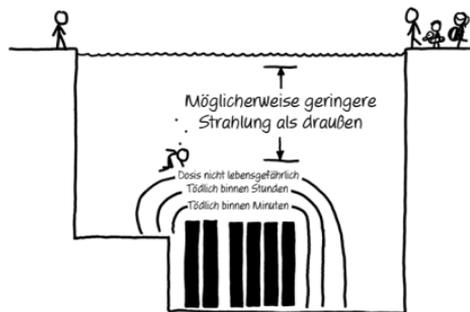
Ein typisches Abklingbecken sieht so aus:



Die Hitze wäre kein großes Problem. In einem Abklingbecken kann die Wassertemperatur theoretisch bis auf 50°C ansteigen, aber in der Praxis liegt sie meist zwischen 25°C und 35°C. Das ist mehr als in den meisten Swimmingpools, aber weniger als in einem heißen Bad.

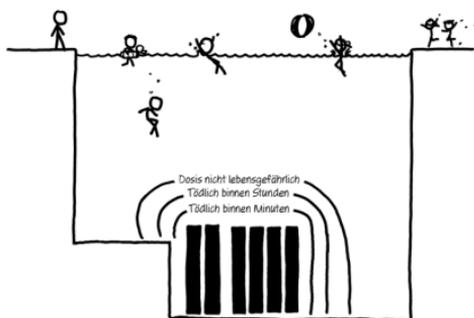
Die Brennstäbe mit der höchsten Radioaktivität sind die, die erst vor Kurzem aus dem Reaktor entnommen wurden. Was die verschiedenen Arten von Strahlung betrifft, die von den verbrauchten Brennelementen ausgehen, so halbiert sich ihre Stärke alle 7 Zentimeter Wassertiefe.

Nimmt man die Radioaktivitätsstufen, die der Energiekonzern Ontario Hydro in einem Bericht angegeben hat, zur Grundlage, dann sieht die Gefahrenzone bei frischen Brennstäben so aus:



Wenn Sie zum Beckengrund tauchen, mit den Ellenbogen an einen Behälter mit frischen Brennstäben stoßen und dann gleich wieder nach oben schwimmen, würde das vermutlich schon ausreichen, um Sie zu töten.

Jenseits der äußeren Grenzlinie aber könnten Sie so lange umherschwimmen, wie Sie mögen – die Dosis wäre geringer als die natürliche Strahlenbelastung, die Sie als Fußgänger abbekommen. Solange Sie unter Wasser sind, wären Sie nämlich von der natürlichen Strahlenbelastung größtenteils abgeschirmt. Es ist also gut möglich, dass Sie beim Schwimmen in einem Abklingbecken einer geringeren Strahlendosis ausgesetzt sind, als wenn Sie draußen umherspazieren.



Vergessen Sie nicht: Ich bin ein Comiczeichner. Wenn Sie meinen Ratschlägen zum Thema »Sicherheit rings um Kernmaterial« folgen, haben Sie es vermutlich nicht besser verdient.

So weit, so gut, wenn alles nach Plan verläuft. Wenn es an den Hüllen der Brennstäbe zu Korrosion kommt, könnte es im Wasser ein paar Spaltprodukte geben. Die Leute dort leisten sehr gute Arbeit, um das Wasser sauber zu halten, und es würde Ihnen nicht schaden, darin zu schwimmen, aber es ist noch immer so radioaktiv, dass man es nicht abfüllen und als Mineralwasser verkaufen dürfte.¹

Dass Abklingbecken sichere Orte für Schwimmer sein können, wissen wir, weil sie routinemäßig von Tauchern gewartet werden.

Nichtsdestotrotz müssen diese Taucher vorsichtig sein.

Am 31. August 2010 wartete ein Taucher das Abklingbecken am schweizerischen Atomreaktor Leibstadt. Am Grund des Beckens entdeckte er ein rätselhaftes Stückchen Rohr und fragte bei seinem Chef nach, was er tun solle. Man sagte ihm, er solle es in seinen Werkzeugkasten stecken, und das tat er dann auch. Wegen der Geräusche durch blubbernde Blasen im Becken hörte er die Warntöne seines Dosimeters nicht.

Als der Werkzeugkasten aus dem Wasser gehievt wurde, schlugen die Strahlungsdetektoren im Außenbereich Alarm. Man warf den Kasten ins Wasser zurück, und der Taucher verließ das Becken. Die Strahlenschutzplaketten des Tauchers zeigten an, dass er eine

¹ Wirklich blöd – es wäre ein höllischer Energy Drink!

überhöhte Ganzkörperdosis abbekommen hatte, und die Dosis in seiner rechten Hand war sogar extrem hoch.

Der Gegenstand erwies sich als Schutzröhre aus einem Strahlungsmonitor im Reaktorkern. Sie war durch Neutronenfluss stark radioaktiv geworden. Aus Versehen hatte man sie abgeschnitten, als 2006 eine Kapsel verschlossen worden war. Sie sank in einen entlegenen Winkel des Abklingbeckens und lag dort vier Jahre unbeachtet herum.

Die Röhre war so radioaktiv, dass der Taucher hätte sterben können, wenn er sie in einem Werkzeuggürtel oder einer Schultertasche nahe am Körper verstaut hätte. So aber schützte ihn das Wasser, und nur seine Hand – ein Körperteil, der strahlungsresistenter ist als die empfindlichen inneren Organe – bekam eine hohe Dosis ab.



Soweit es um Sicherheit beim Schwimmen geht, können wir unterm Strich sagen, dass es Ihnen wahrscheinlich ganz gut gehen würde, so lange Sie nicht zum Beckengrund abtauchen oder irgendwelche komischen Dinge aufsammeln.

Aber um sicherzugehen, habe ich mich mit einem Freund in Verbindung gesetzt, der an einem Forschungsreaktor arbeitet, und ihn gefragt, was seiner Meinung nach mit jemandem passieren würde, der im dortigen Abklingbecken zu schwimmen versuchte.

»In *unserem* Reaktor?« Er dachte einen Moment nach. »Du würdest sterben, noch ehe du überhaupt einen Zeh ins Wasser getaucht hast – und zwar an Schusswunden.«

SELTSAME (UND BEUNRUHIGENDE) FRAGEN AUS DEM »WHAT IF?«-POSTEINGANG, # 1

Shelby, danke für meinen
neuen Albtraum.



Könnte man seine Zähne
auf eine so niedrige
Temperatur herunterkühlen,
dass sie zerbrechen würden,
wenn man eine Tasse heißen
Kaffee trinkt?

Shelby Hebert

Wie viele Häuser brennen in
den USA pro Jahr ab?
Was wäre der einfachste Weg,
um diese Zahl signifikant zu erhöhen
(sagen wir, um mindestens 15 Prozent)?

Anonym

Hallo, Polizei?
Ich habe diese Website,
wo die Leute Fragen stellen...



EINE NEW YORKER ZEITMASCHINE

Wenn man eine Zeitreise in die Vergangenheit macht, kommt man – vermute ich mal – wieder am selben Punkt der Erdoberfläche an. So funktionierte es zumindest in den »Zurück in die Zukunft«-Filmen. Wenn man also auf dem New Yorker Times Square startet und in die Vergangenheit reist, wie hätte es dort vor 1000 Jahren ausgesehen? Und vor 10 000 Jahren? Vor 100 000 Jahren? Vor 1 000 000 Jahren? Vor 1 000 000 000 Jahren? Und wenn wir in die Zukunft reisen – wie wird es dort in 1 000 000 Jahren aussehen?

Mark Dettling

1000 Jahre zurück

Manhattan ist in den letzten 3000 Jahren kontinuierlich bewohnt gewesen; die ersten Menschen siedelten sich dort vor vielleicht 9000 Jahren an.

Als im 17. Jahrhundert die Europäer in diesem Gebiet eintrafen, wohnten dort Lenape-Indianer.¹ Die Lenape waren ein lockerer

¹ Auch als Delaware bekannt.

Verband von Stämmen, die in den heutigen Bundesstaaten Connecticut, New York, New Jersey und Delaware lebten.

Vor tausend Jahren war die Gegend wahrscheinlich von einer ähnlichen Mischung aus Stämmen besiedelt, aber jene Bewohner lebten eben ein halbes Jahrtausend vor dem Kontakt mit Europa. Sie waren von den Lenape um 1600 ebenso weit entfernt, wie es die Lenape des Jahres 1600 von den heutigen sind.

Um herauszufinden, wie der Times Square aussah, bevor es dort eine Stadt gab, wenden wir uns einem bemerkenswerten Projekt namens »Welikia« zu, das aus dem kleineren Projekt »Mannahatta« hervorgegangen ist. Welikia hat eine detaillierte Ökokarte der Landschaft von New York City zur Zeit der Ankunft der Europäer erstellt.

Die interaktive Karte, online unter welikia.org zugänglich, ist die fantastische Momentaufnahme eines ganz anderen New York. 1609 war die Insel Manhattan Teil einer Landschaft mit sanften Hügeln, Sümpfen, Waldgebieten, Seen und Flüssen.

Vor tausend Jahren könnte der Times Square in puncto Natur ähnlich ausgesehen haben wie der von Welikia beschriebene Times Square. Er ähnelte wahrscheinlich den alteingewachsenen Wäldern, die man im Nordosten der USA noch an wenigen Stellen findet. Dennoch gäbe es ein paar nennenswerte Unterschiede.

Vor 1000 Jahren hätte es mehr große Tiere gegeben. Unsere Restbestände an unberührten Wäldern im Nordosten sind heute ein zerrissenes Patchwork und beinahe frei von Großraubtieren; wir haben zwar noch ein paar Bären, Wölfe und Koyoten, aber so gut wie keine Pumas mehr. (Andererseits sind unsere Hirschpopulationen explosionsartig gewachsen, zum Teil gerade wegen der verschwundenen großen Raubtiere.)

Die Wälder von New York wären vor 1000 Jahren voller Kastanienbäume gewesen. Die Hartholzwälder des östlichen Nordamerikas hatten zu rund 25 Prozent aus Amerikanischen Esskastanien bestanden, bis im frühen 20. Jahrhundert der Rindenkrebs dort grassierte. Nur die Baumstümpfe, die ihnen in den Wäldern Neuenglands immer noch begegnen können, haben bis heute über-

dauert. Die Stümpfe treiben regelmäßig frische Sprossen, die jedoch bald wieder dahinwelken, wenn der Rindenkrebs zuschlägt. In nicht zu ferner Zukunft wird auch der letzte Baumstumpf absterben.



Wölfe wären in den Wäldern weitverbreitet gewesen, vor allem, wenn man ein Stück landeinwärts gegangen wäre. Man hätte auch Berglöwen^{2,3,4,5} und Wandertauben⁶ begegnen können.

Eines aber hätten Sie *nicht* gesehen: Regenwürmer. Als die europäischen Kolonisten in Neuengland ankamen, gab es dort keinen einzigen Regenwurm.

Um herauszufinden, weshalb es keine Regenwürmer gab, sollten wir jetzt einen weiteren Schritt in die Vergangenheit tun.

10000 Jahre zurück

Vor zehntausend Jahren trat die Erde gerade aus einer Periode großer Kälte heraus.

Die riesigen Eisschilde, die Neuengland bedeckt hatten, waren wieder abgezogen. Vor 22000 Jahren lag die südliche Kante des Eises nahe Staten Island, aber vor 18000 Jahren hatte sie sich

² Auch als Pumas bekannt.

³ Auch als Silberlöwen bekannt.

⁴ Auch als Kuguare bekannt.

⁵ Auch als Florida-Panther bekannt.

⁶ Damals hätten Sie aber vielleicht nicht solche Wolken aus Billionen von Tauben gesehen, wie sie die europäischen Siedler angetroffen haben. In seinem Buch *1491* argumentiert Charles C. Mann, die riesigen Taubenschwärme seien womöglich schon ein Symptom für ein chaotisches Ökosystem gewesen, das durch die Ankunft von Pocken, Rispengras und Honigbienen durcheinandergeraten war.

schon bis hinter Yonkers⁷ nach Norden zurückgezogen. Bei unserer Ankunft in der Region, also vor 10 000 Jahren, hatte sich das Eis bereits bis hinter die heutige kanadische Grenze verflüchtigt.

Die Eisschilde schabten die Landschaft bis auf das Untergrundgestein ab. Während der nächsten 10 000 Jahre schlich das Leben langsam Richtung Norden zurück. Einige Arten kamen schneller voran als andere; als die Europäer in Neuengland eintrafen, waren die Regenwürmer immer noch nicht wieder da.



Während das Inlandeis zurückging, brachen große Eisbrocken ab und blieben liegen. Als sie schmolzen, entstanden wassergefüllte Bodensenken, die man Sölle oder Toteisseen nennt. Oakland Lake am Nordende des Springfield Boulevard im New Yorker Stadtteil Queens ist ein solcher Toteissee. Das Inlandeis setzte auch Steinbrocken ab, die es unterwegs aufgesammelt hatte; einige dieser Felsen, die man als Findlinge bezeichnet, kann man heute im Central Park finden.



⁷ Ich meine natürlich den heutigen Ort Yonkers. Damals hieß er wahrscheinlich noch nicht so, denn »Yonkers« ist ein aus dem Niederländischen abgeleiteter Name für eine Siedlung des späten 17. Jahrhunderts. Dennoch behaupten einige, ein Ort namens »Yonkers« habe schon immer existiert – länger als die Menschheit und sogar als die Erde selbst. Na ja, eigentlich behauptet es niemand außer mir, aber ich bin natürlich sehr stimmgewaltig.

Unter dem Eis flossen mit hohem Druck Schmelzwasserströme, die Sand und Kies ablagerten. Diese Ablagerungen sind noch als gewundene Wälle erhalten, die man Oser oder Esker nennt. In den Wäldern um mein Zuhause in Boston laufen sie kreuz und quer durch die Landschaft. Sie sind verantwortlich für eine ganze Reihe von merkwürdigen Landschaftsformen, etwa die weltweit einzigartigen vertikalen U-förmigen Flussbetten.



100 000 Jahre zurück

Die Welt von vor 100 000 Jahren könnte unserer heutigen ziemlich ähnlich gewesen sein.⁸ Wir leben in einer Ära schneller, immer wiederkehrender Vereisungen, aber in den letzten zehntausend Jahren ist unser Klima stabil und warm gewesen.⁹

Vor 100 000 Jahren befand sich die Erde gerade am Ende einer ähnlichen Periode mit stabilem Klima. Man nennt sie in Amerika die Sangamon-Warmzeit, während man in Europa von der Eem-Warmzeit spricht. In ihr konnte sich eine artenreiche Umwelt entfalten, die uns ziemlich vertraut vorkommen würde.

Die Küstengeographie hingegen hat völlig anders ausgesehen; Staten Island, Long Island, Nantucket und Martha's Vineyard waren allesamt Plateaus, die beim jüngsten Vorrücken des Eises wie mit dem Bulldozer aufgeschoben worden waren. Vor hundert Jahrtausenden war die Küstenzone mit anderen Inseln übersät.

⁸ Auch wenn es weniger Reklametafeln gab.

⁹ Ja, »gewesen«. Wir machen gerade Schluss damit.

In den Wäldern fand man viele der heute bekannten Tiere – Vögel, Hörnchen, Hirsche, Wölfe, Schwarzbären –, aber es gab auch ein paar spektakuläre Extras. Um mehr darüber zu erfahren, müssen wir uns dem Geheimnis des Gabelbocks zuwenden.

Der heutige Gabelbock (eine amerikanische Antilope) ist ein lebendes Rätsel. Er ist ein schneller Läufer, obwohl er das eigentlich nicht nötig hätte. Gabelböcke können Geschwindigkeiten von bis zu 89 km/h erreichen und sogar über eine längere Strecke durchhalten. Ihre schnellsten Fressfeinde – Wölfe und Koyoten – schaffen es in kurzen Sprints aber kaum über 55 km/h. Warum hat sich der Gabelbock in der Evolution ein solches Tempo zugelegt?

Die Antwort lautet, dass die Welt, in der sich der Gabelbock entwickelte, ein viel gefährlicherer Ort war als heute. Vor 100 000 Jahren beherbergten Nordamerikas Wälder *Canis dirus* (eine Art übergroßen Wolf), *Arctodus* (den Kurznasenbären) und *Smilodon fatalis* (die Säbelzahnkatze), die alle drei schneller und tödlicher gewesen sein dürften als heutige Raubtiere. In der Quartären Aussterbewelle, kurz nachdem die ersten Menschen den Kontinent besiedelt hatten¹⁰, verschwanden sie allesamt von der Bildfläche.

Wenn wir noch ein bisschen weiter zurückgehen, stoßen wir auf ein anderes furchterregendes Raubtier.

1 000 000 Jahre zurück

Vor einer Million Jahren war die Erde ziemlich warm; die letzte große Vereisungsperiode hatte noch nicht begonnen. Wir befanden uns mitten im Quartär. Die großen modernen Eiszeitalter hatten zwar schon einige Millionen Jahre früher begonnen, aber im Vorrücken und Zurückweichen der Gletscher gab es gerade eine Kampfpause, und so war das Klima relativ stabil.

Zu den Raubtieren, denen wir schon begegnet sind – also den schnellfüßigen Geschöpfen, die vielleicht Jagd auf den Gabelbock machten –, gesellt sich der furchterregende *Chasmaporthetes*, eine

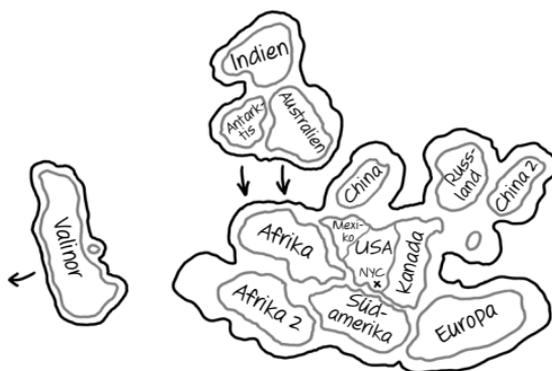
¹⁰ Ganz sicher reiner Zufall.

langbeinige Hyäne, die einem Wolf von heute ähnelte. *Chasmaporthetes* kamen hauptsächlich in Afrika und Asien vor, aber als der Meeresspiegel sank, wanderte eine Art über die Beringstraße nach Nordamerika. Weil ihr das keine andere Hyänenart nachmachte, bekam sie den Namen *Chasmaporthetes ossifragus*. Ihr Gattungsname bedeutet »der den Canyon erblickte«, ihr Artname »knochenbrechend«.

Und nun lässt Marks Frage uns einen ganz großen Sprung rückwärts machen.

1 000 000 000 Jahre zurück

Vor einer Milliarde Jahren waren die Kontinentalplatten zu einem großen Superkontinent zusammengeschoben. Es war nicht der wohlbekannte Superkontinent »Pangaea«, sondern sein Vorgänger »Rodinia«. Die geologischen Befunde sind lückenhaft, aber am ehesten dürfte er ungefähr so ausgesehen haben:



Zu Rodinias Zeiten musste sich der Felsboden, der jetzt unter Manhattan liegt, erst noch formen, aber das nordamerikanische Tiefengestein war damals schon alt. Der Teil des Kontinents, der jetzt Manhattan ist, war vermutlich eine Inlandregion und mit dem verbunden, was wir heute als Angola und Südafrika bezeichnen.

In dieser grauen Vorzeit gab es keine Pflanzen und keine Tiere.

Die Ozeane waren voller Leben, aber es war ein einfaches, ein-

zelliges Leben. Auf der Wasseroberfläche trieben Matten von Blaualgen. Diese unauffälligen Dinger sind die gefährlichsten Killer in der Geschichte des Lebens.

Blaualgen oder »Cyanobakterien« waren die ersten Lebewesen, die Photosynthese betrieben. Sie atmeten Kohlendioxid ein und Sauerstoff aus. Sauerstoff ist ein flüchtiges Gas; es lässt Eisen rosten (Oxidation) und Holz brennen (heftige Oxidation). Als die Blaualgen zuerst auftauchten, war der von ihnen ausgeatmete Sauerstoff für beinahe alle anderen Lebensformen giftig. Der daraus resultierende Artentod wird »Große Sauerstoffkatastrophe« genannt.

Nachdem die Cyanobakterien die Erdatmosphäre und das Wasser mit giftigem Sauerstoff vollgepumpt hatten, entwickelten sich Geschöpfe, die sich die flüchtige Natur des Gases zunutze machten, um neue biologische Prozesse zu ermöglichen. Wir sind die Nachfahren jener ersten Sauerstoffatmer.

Viele Details dieser Geschichte bleiben ungewiss; die Welt von vor einer Milliarde Jahren ist nur schwer zu rekonstruieren. Aber Marks Frage bringt uns nun in einen noch ungewisseren Bereich – in die Zukunft.

1 000 000 Jahre voraus

Irgendwann werden die Menschen aussterben. Niemand weiß, wann das passiert¹¹, aber nichts existiert ewig. Vielleicht werden wir uns auf die Sterne ausbreiten und noch Milliarden oder Billionen Jahre weiterleben. Vielleicht bricht die Zivilisation zusammen; wir alle gehen an Epidemien und Hungersnöten zugrunde, und den letzten von uns fressen die Katzen. Vielleicht werden wir alle schon wenige Stunden, nachdem Sie diesen Satz gelesen haben, von Nanorobotern umgebracht. Niemand kann das wissen.

Eine Million Jahre sind eine lange Zeit. Es ist mehrfach so lange, wie der *Homo sapiens* existiert, und hundert Mal länger als die Ära, in der wir eine Schriftsprache besitzen. Ziemlich sicher ist

¹¹ Wenn Sie es wissen, schicken Sie mir doch eine E-Mail.

nur, dass die Geschichte des Menschen, egal wie sie sich gestaltet, in einer Million Jahre aus ihrem heutigen Stadium herausgetreten sein wird.

Ohne uns werden die Naturkräfte die Erde zernagen und abschleifen. Winde, Regen und Treibsand werden die Artefakte unserer Zivilisation zersetzen und begraben. Der vom Menschen ausgelöste Klimawandel wird den Beginn der nächsten Vereisungsperiode womöglich hinauszögern, aber der Zyklus der Eiszeiten ist noch nicht vorüber. Am Ende werden die Gletscher wieder vorrücken. In einer Million Jahren wird von dem, was die Menschen hervorgebracht haben, wenig übrig geblieben sein.

Unser langlebigstes Relikt wird wahrscheinlich die Plastikschicht sein, mit der wir den ganzen Planeten umhüllt haben. Indem wir Erdöl förderten, es zu stabilen und dauerhaften Polymeren verarbeiteten und diese auf der ganzen Erdoberfläche verstreuten, haben wir einen Fußabdruck hinterlassen, der all unser sonstiges Tun überdauern könnte.

Unser Plastik wird zerfetzt und untergewühlt werden, und vielleicht werden irgendwelche Mikroben lernen, wie man es verdaut. Aber aller Wahrscheinlichkeit nach wird in einer Million Jahren eine Schicht von verarbeiteten Kohlenwasserstoffen – den umgewandelten Resten unserer Shampooflaschen und Einkaufstüten – als chemisches Denkmal an unsere Zivilisation erinnern.

Die ferne Zukunft

Die Sonne strahlt allmählich immer heller. Seit drei Milliarden Jahren hat ein komplexes System von Rückkopplungsschleifen die Temperatur auf der Erde relativ stabil gehalten, während die Sonne stetig wärmer geworden ist.

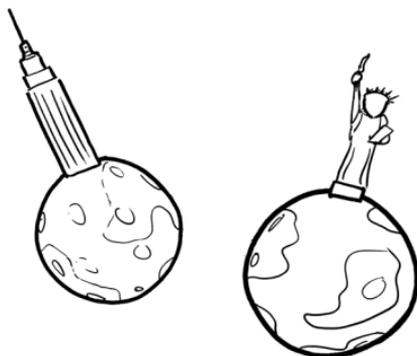
In einer Milliarde Jahren werden diese Rückkopplungsschleifen nicht mehr funktionieren. Unsere Ozeane, die das Leben nährten und kühl hielten, werden sich in die schlimmsten Feinde des Lebendigen verwandeln. Sie werden in der heißen Sonne verdampfen und den Planeten mit einem dicken Teppich aus Wasserdampf um-

geben. Das wird einen unkontrollierbaren Treibhauseffekt auslösen. In einer Milliarde Jahren wird die Erde zu einer zweiten Venus werden.

Wenn sich der Planet aufheizt, könnte er sein Wasser ganz verlieren und eine Felsdampfatmosphäre ausbilden, weil die Erdkruste selbst zu kochen beginnt. Und schließlich, nach mehreren Milliarden Jahren, werden wir von der expandierenden Sonne verzehrt.

Die Erde wird völlig verbrannt, und viele der Moleküle, die einst den Times Square ausmachten, werden von der sterbenden Sonne nach allen Seiten versprengt. Diese Staubwolken werden durchs Weltall treiben und vielleicht kollabieren, um neue Sterne und Planeten zu bilden.

Wenn die Menschen dem Sonnensystem rechtzeitig entfliehen und die Sonne überleben, könnten unsere Nachfahren irgendwann auf einem dieser Planeten leben. Atome vom Times Square, die zwischenzeitlich durchs Herz der Sonne gegangen sind, werden dann unsere neuen Körper formen.



Eines Tages werden wir alle tot sein – oder allesamt New Yorker.

SEELENVERWANDTE

Was wäre, wenn jeder tatsächlich nur einen einzigen Seelenverwandten hätte – eine zufällig ausgewählte Person irgendwo auf der Welt?

Benjamin Staffin

WAS FÜR EIN ALBTRAUM!

Mit der Idee eines einzigen, zufällig ausgewählten Seelenverwandten sind eine Menge Probleme verbunden. Tim Minchin spricht davon in seinem Song »If I Didn't Have You«:

*Your love is one in a million;
You couldn't buy it at any price.
But of the 9999 hundred thousand other loves,
Statistically, some of them would be equally nice.*

Doch wenn wir nun genau einen per Zufallsgenerator ausgewählten perfekten Seelenverwandten hätten und mit niemand anderem glücklich werden könnten? Würde einer den anderen finden?

Nehmen wir an, Ihr Soulmate sei bei der Geburt dazu bestimmt worden. Sie hätten keine Ahnung, wer er ist und wo er lebt, aber genau wie in der romantischen Klischeevorstellung würden Sie einander sofort erkennen, wenn Ihre Blicke sich trafen.

Das aber wirft einige Fragen auf. Zunächst mal: Wäre Ihr Seelenverwandter überhaupt noch am Leben? Ungefähr hundert Milliarden Menschen hat die Erde schon hervorgebracht, aber zur Zeit leben gerade mal sieben Milliarden (womit die Menschheit insgesamt eine Sterberate von 93 Prozent hat). Würden wir alle