



Quarks & Co „Die Wissenschaft vom Zufall“



Autoren:

Axel Bach

Daniel Münter

Jan Krüger

Martin Rosenberg

Redaktion:

Ingo Knopf

Vielleicht kennen Sie die Situation: Sie haben es schreckliche eilig und stehen im Supermarkt in der Schlange. Endlich sind Sie an der Reihe. Aber die Kassiererin muss erst mühsam die Papierrolle wechseln. Nur ein Zufall? Wer weiss...

Und was ist mit den glücklichen Lottogewinnern jedes Wochenende?

Nach welchem Zufallsprinzip fallen die begehrten Zahlen?

Wie kommen Wirtschaftsprüfer scheinbar "zufällig" auf die Spur von Steuerbetrügern?

Ist die "Liebe auf den ersten Blick" romantischer Zauber oder einfach nur Zufall?

Welche Rolle spielt die Statistik in der Zufallsforschung?

Und wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass rein zufällig ausserirdisches Leben entstanden ist?

Diesen und anderen Fragen geht Ranga Yogeshwar in der **Quarks & Co** - Sendung "Die Wissenschaft vom Zufall" auf den Grund.

Lotto-Strategien

Welche Zahlen soll man tippen?

Den Traum von "sechs Richtigen" im Lotto träumen in Deutschland wöchentlich mehrere Millionen Menschen. Die Hoffnung auf den glücklichen Zufall ist groß - die Zahl derer, die zufällig das große Glück haben, bleibt jedoch klein. Denn die Mathematik ist grausam: 1 zu 13.983.816 beträgt die Wahrscheinlichkeit auf "sechs Richtige". Prozentual hat man also eine Chance von 0,000007 % auf den großen Geldregen. Und weil die Kugeln jede Woche wieder neu gemischt werden, bleibt die Wahrscheinlichkeit für einen Lottogewinn auch so unglaublich gering. Und dennoch versuchen die Menschen immer wieder den glücklichen Zufall herbeizulocken - mit ausgefeilten Strategien und neuen Taktiken.

Viele Gewinner senken die Quote



Regelmäßige Muster auf dem Lottoschein bringen regelmäßig schlechte Quoten

Der Gedanke ist gar nicht so falsch, denn mit einer guten Strategie kann man zumindest die Höhe eines Gewinns beeinflussen. Je mehr Gewinner es gibt, die sich einen Gewinn teilen müssen, desto kleiner wird der Gewinnanteil für jeden Einzelnen. So passierte es bei jener denkwürdigen Ziehung vom 4.10.1997: Damals hätte ein Sechser 6,7 Millionen DM (rund 3,4 Millionen Euro) gebracht – wenn nur ein einziger Tipper die sechs richtigen Zahlen (9-13-23-27-38-40) angekreuzt hätte. Weil die Zahlen aber so ein hübsches Muster auf dem Tippschein bildeten, hatten viele sie angekreuzt: 124 Tipper mussten sich den Gewinn teilen und bekamen nur 53.982 DM (27.600,56 Euro) ausgezahlt.

Quarks-Tipps zum Lottospielen

Leider wissen wir nicht, welche Zahlen Sie ankreuzen müssen, um "sechs Richtige" zu haben. Aber wir wissen, wie sie vermeiden können, Ihren Gewinn mit vielen anderen zu teilen. Hier ein paar goldene Regeln:

Machen Sie keine Muster auf dem Lottoschein. Bei quadratischer Anordnung der Kästchen ergeben beispielsweise die Zahlen 1-9-16-25-33-41 die Diagonale von links oben nach rechts unten. Solche Muster gefallen auch anderen.

Auch regelmäßige Zahlenfolgen (2-4-6-8-10-12) sind sehr beliebt. Natürlich werden regelmäßige Zahlenfolgen mit der gleichen Wahrscheinlichkeit gezogen wie alle anderen auch – aber der Gewinn wird nicht sehr hoch sein, da Sie sich ihn mit vielen anderen Tippern teilen müssen. So brachte die Kombination 2-3-4-5-6-26 der Lottoziehung vom 10.4.1999 den 31 Gewinnern immerhin noch 232.000 DM (118.619 Euro) pro Nase. Der Gewinn wäre jedoch noch bedeutend geringer ausgefallen, wäre statt der 26 die 7 gefallen.

Die Lottogesellschaften veröffentlichen selbst jede Menge Statistiken über die gezogenen Zahlen (z. B. unter www.cyberlotto.de). Sie geben Auskunft darüber, welche Zahl am häufigsten gezogen wurde (zur Zeit die 32), welche am seltensten (13) oder welche Zahl am längsten nicht gefallen ist (auch die 32!). Unser Rat: Kümmern Sie sich nicht um solche Statistiken! Regeln lassen sich daraus nicht ableiten, außer einer:

Viele Spieler kreuzen genau diese Zahlen an und verringern dadurch die Quote. Kreuzen Sie nicht die Zahlen an, die sich aus den Geburtstagen Ihrer Familie ergeben. Das machen viele andere auch – und sorgen so dafür, dass die Quoten besonders niedrig sind, wenn Zahlen unter 30 oder die 19 gezogen werden.

Tippen Sie nicht die Zahlen, die andere auch tippen. Leider veröffentlichen die Lottogesellschaften diese Zahlen nicht. Allerdings hat der Mathematikprofessor Karl Bosch 1993 eine Studie eben zu diesem Thema durchgeführt. Er wertete 6,8 Millionen Tippreihen aus, die ihm die baden-württembergische Lottogesellschaft zur Verfügung gestellt hatte. Die am häufigsten getippte Zahl war die 19, danach folgten 9-7-17-10-11.

Solche Strategien machen sich im Übrigen auch kommerzielle Spielergemeinschaften zunutze, die "Hochquotensysteme" versprechen. Hier gilt allerdings: Wer einen Sechser tippt, muss den Gewinn mit vielen anderen teilen. Außerdem reduzieren sich die Gewinnchancen allein dadurch, dass ein Teil des Einsatzes bei der Tipp-Firma hängen bleibt, statt chancensteigernd eingesetzt zu werden.

Am besten Sie kreuzen zufällig ausgewählte Zahlen an. Die Lottogesellschaften bieten solche Zahlen z. B. als "Quick-Tipp" an. Das steigert zwar nicht Ihre Gewinnchancen auf "sechs Richtige" - aber die Wahrscheinlichkeit, dass Sie für einen Sechser nur wenig Geld bekommen, sinkt immens.

Martin Rosenberg

Wir haben keinen Sinn für Zufall

Die Wissenschaft vom Zufall ist ein harter Brocken! Allzu oft widerspricht sie dem gesunden Menschenverstand. Und genau dafür interessieren sich Psychologen. Mit ihren Untersuchungen zum Verhältnis von Psyche und Zufall haben sie Erstaunliches zu Tage gefördert.

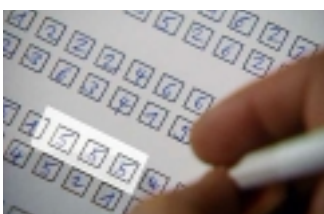
Der Mensch - ein schlechter Zufallsgenerator



Wir können das Verhalten eines Würfels nicht nachahmen

Schon bei einem einfachen Experiment zeigt sich, dass der Mensch als Zufallsgenerator nicht viel taugt: Werden Versuchsteilnehmer aufgefordert, sich eine Folge von Würfelergebnissen auszudenken – also im Kopf zu würfeln – so unterscheidet sich die Zahlenreihe deutlich von einer real gewürfelten. Es gibt dabei zwei Hauptunterschiede:

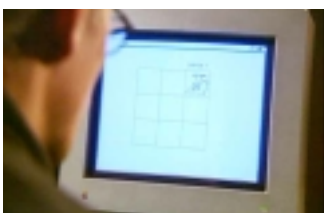
In realen Würfelfolgen tauchen immer wieder Kombinationen von drei oder gar vier Wiederholungen auf, z. B. viermal hintereinander die Sechs. Diese Wiederholungen sind rein zufälliger Natur. Versuchspersonen vermeiden es jedoch, solche Muster zu produzieren, denn sie empfinden eine derartige Häufung als nicht zufällig.



Gewürfelte Zahlen obere Reihe; ausgedachte Zahlen untere Reihe

Der zweite Unterschied zwischen realen und ausgedachten Zufallsfolgen ist nicht ganz so auffällig. Menschen neigen dazu, innerhalb kurzer Zeit alle Ziffern gleich häufig zu nennen; sie achten also auf eine Gleichverteilung der Würfelergebnisse. Zwar nähert sich der Anteil einer Zahl auf längere Sicht auch beim realen Würfeln einem Erwartungswert. Es gibt aber keinen Zwang zum Ausgleich. Viele Menschen meinen hingegen unbewusst, dass eine Zahl wahrscheinlicher wird, wenn sie lange nicht gefallen ist.

Der Hang zu Mustern



Verhaltensexperiment zu Zufall und Psyche, Uni Zürich

Bei der Erzeugung des Zufalls sind wir Menschen also denkbar schlecht. Aber erkennen wir den Zufall wenigstens, wenn wir ihm im Alltag begegnen? Speziell mit dieser Frage hat sich der Neurobiologe Peter Brugger von der Universität Zürich beschäftigt. In einem Verhaltensexperiment wies er Versuchspersonen an, eine Figur mit Hilfe der Cursortasten auf dem Computerbildschirm von der linken unteren in die rechte obere Ecke zu führen. Am Ziel konnten sie damit eine virtuelle Belohnung abholen. Was die Versuchsteilnehmer allerdings nicht wussten: Es gab eine Bedingung, um belohnt zu werden: Die Überführung der Figur musste länger als fünf Sekunden dauern. Brauchten die Versuchspersonen weniger als fünf Sekunden dafür, bekamen sie keine Belohnung. Das Ergebnis des Experiments: Die Teilnehmer entwarfen komplizierte Erklärungen. Manche waren überzeugt von ganz bestimmten Tastenkombinationen, andere glaubten felsenfest, jedes Mal kurz vor dem Ziel mit dem Cursor an den Start zurückkehren zu müssen. "Die Leute sehen zu viele Muster, sie sehen zu viele Regelmäßigkeiten", sagt Peter Brugger. "Das ist nicht nur in diesem Spiel der Fall, sondern wahrscheinlich auch im Spiel 'Leben'." Seiner Meinung nach gibt es kaum jemanden, der an Zufälle glaubt. Brugger ist davon überzeugt, dass wir in unserem Leben zu viele Muster sehen und Zusammenhänge herstellen, während eigentlich oft nur der Zufall regiert.

Aberglauben und Parapsychologie

Unser Gehirn ist darauf programmiert, Zusammenhänge und Ursachen zu erkennen, lautet die These der Psychologen. Nur so lernen wir von Kindesbeinen an, die Welt zu begreifen. Diese Eigenschaft erklärt, warum wir dazu neigen, manchen Ereignissen einen tieferen Grund zuzusprechen, obwohl sie schlicht und ergreifend zufällig sind. Ein Beispiel ist der Anruf eines Freundes, an den wir gerade denken und von dem wir lange nichts gehört haben. Hier vermuten viele Menschen eine tiefere Verbindung. Dabei vergessen sie, wie oft wir an andere Menschen denken und nicht von ihnen angerufen werden.

Ein weiteres Beispiel ist das "Kleine-Welt-Phänomen". Diese soziologische Theorie, nach der wir mit jedem anderen Menschen auf der Welt über höchsten vier bis sechs Bekannte verbunden sind, ist experimentell bewiesen. Wenn wir also feststellen, dass es eine enge Verbindung mit einem Zufallsbekannten gibt, so ist das kein Beweis für eine übernatürliche Kraft, sondern eine zwangsläufige Eigenschaft unseres sozialen Daseins.

Daniel Münter

Wie Wahrscheinlichkeiten täuschen können

Verwirrung durch Prozentzahlen

Eine knifflige Frage für Ärzte und Patienten: Wie bewertet man das positive Ergebnis eines medizinischen Tests richtig? Der Fall: Ein Test, der Blut im Stuhl nachweist, zeigt ein positives Ergebnis. Der Arzt schlägt in den Test-Unterlagen nach und findet die folgenden Informationen: "Die Wahrscheinlichkeit, dass ein über Fünfzigjähriger, symptomfreier Mann Darmkrebs hat, beträgt 0,3 %. Hat er Darmkrebs, liegt die Wahrscheinlichkeit bei 50 %, dass er einen positiven Testbefund erhält. Wenn kein Darmkrebs vorliegt, dann beträgt die Wahrscheinlichkeit 3 %, dass er dennoch einen positiven Testbefund bekommt."

Nachrechnen ist besser

Mediziner lieben es, sich in Wahrscheinlichkeiten auszudrücken. Und kommen dann oft zu Aussagen, die den Patienten eher verwirren als aufklären. Was sagt das positive Testergebnis in diesem Fall aus? Es besteht eine 50-prozentige Wahrscheinlichkeit, dass der Patient Darmkrebs hat oder eine 3-prozentige, dass er keinen hat? Oder liegt die Wahrheit in der Mitte? Selbst Experten haben meist erhebliche Schwierigkeiten, solche Angaben richtig zu deuten. Dabei kommt man leichter auf die Lösung, wenn man statt der Wahrscheinlichkeiten mit "relativen Häufigkeiten" rechnet. In diesem Fall geht die Rechnung so: 0,3 % der über Fünfzigjährigen symptomfreien Männer haben Darmkrebs - von 10.000 Männern also 30. Von diesen 30 haben 50 % ein positives Testergebnis - also die Hälfte, nämlich 15. Bleiben 9.970 übrig, von denen 3 % ein (falsch) positives Testergebnis haben: immerhin 300. Insgesamt zeigt der Test also in 315 Fällen ein positives Ergebnis an, aber nur 15 dieser Männer haben Darmkrebs. Oder anders ausgedrückt: Dieses positive Testergebnis bedeutet, dass der Patient mit einer Wahrscheinlichkeit von 4,76 % Darmkrebs hat - nicht mehr!

Selbst Experten sind manchmal unsicher

Wissenschaftler vom Berliner Max-Planck-Institut für Bildungsforschung haben mehrere solcher Fälle Medizinstudenten und Juristen vorgelegt. Sie stellten fest: Werden die Wahrscheinlichkeiten in Prozentzahlen ausgedrückt, werden selbst erfahrene Experten unsicher. Sie wissen oft nicht, wie man statistische Informationen richtig interpretiert. Drückt man die Zahlen jedoch in relativen Häufigkeiten aus, werden sie plötzlich verständlich.

Überwältigende Beweise ...

Ein anderer Fall: Den Probanden, in diesem Fall Jura-Studenten und Juristen, wurden Unterlagen aus einem fiktiven Gerichtsverfahren vorgelegt. Das einzige Indiz, das es in diesem Fall gab, war eine DNA-Spur vom Tatort. Das Gutachten berichtete: "Die Wahrscheinlichkeit, dass eine zufällig ausgewählte DNA-Probe mit der Probe vom Tatort übereinstimmt, beträgt 0,0001 %. Wenn jemand dieses DNA-Profil hat, dann ist es so gut wie sicher (100 %), dass der DNA-Test einen Treffer anzeigt. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Test bei einer Probe einen Treffer anzeigt, obwohl sie nicht übereinstimmt, beträgt 0,001 %."

... beweisen manchmal gar nichts

Das klang überwältigend, vor allem für die Jura-Studenten, die sich bei diesem Test leichtfertig zu einer Verurteilung hinreißen ließen. Doch wenn man diese Zahlen nachrechnet, erscheint dieser Fall plötzlich gar nicht mehr so eindeutig: Von 10 Millionen Menschen haben 10 (0,0001 %) ein DNA-Profil, das mit der Probe übereinstimmt. Bei den übrigen 9.999.990 Menschen zeigt der Test aber bei 0,001 % fälschlicherweise ein positives Ergebnis an - das sind insgesamt 100. Bei zehn Millionen Menschen, die die gesuchten DNA-Merkmale aufweisen, würden also insgesamt 110 "Treffer" angezeigt werden. Lediglich bei 10 dieser 110 Treffer stimmen die Merkmale aber wirklich überein, d. h. nur 10 kämen als mögliche Täter in Frage. Ein Schuldspruch würde also bedeuten, dass der Richter bei 11 Verdächtigen wahllos einen herausgreift und ihm die Tat auf den Kopf zusagt.

Verwirrung bei HIV-Tests

Durch Wahrscheinlichkeitsaussagen lassen sich Betroffenen häufig verwirren. Die Max-Planck-Forscher stellten auch bei AIDS-Beratern an deutschen Gesundheitsämtern erhebliche Unsicherheiten fest. Sie fragten die Berater, mit welcher Sicherheit der HIV-Test eine vorhandene Infektion entdecken würde und mit welcher Sicherheit man von einem positiven Testergebnis auf eine HIV-Infektion schließen könnte. Die Wissenschaftler stellten fest: Viele Berater merkten nicht, dass dies zwei völlig verschiedene Fragen waren und gaben falsche Antworten. Erst wenn sie die Beispiele mit relativen Häufigkeiten durchrechneten, erkannten sie den Unterschied.

Martin Rosenberg

Zufall im Sport

Die Jagd nach Rekorden



Weitspringer im Kampf gegen die Schwerkraft



Kleinste Abweichungen schlagen sich im Ergebnis nieder



Je häufiger ein Athlet springt, desto eher erreicht er eine Abweichung vom Mittelwert



Die Rekorde der 800-m-Läufer entsprechen der statistischen Voraussage



Die 10.000-m-Läufer haben sich seit 1993 entscheidend verbessert

"Schneller, weiter, höher" - die Jagd nach neuen Bestleistungen ist im Leistungssport ganz wichtig. Wer ganz vorne mit dabei sein will, muss möglichst oft an den Start, denn das verbessert die Trainingsleistung. Es hat aber auch noch einen anderen Effekt: Die Chancen auf einen "zufälligen" Rekord steigen mit jedem neuen Versuch

Rekorde als Ausreißer

Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich wollen herausfinden, ob die Gesetze des Zufalls auch den Sport regieren. Dazu haben sie verschiedene leichtathletische Disziplinen einzeln unter die Lupe genommen, z. B. den Weitsprung. Zunächst errechnen sie aus einer ganzen Reihe von Weitsprüngen einen Mittelwert und ermitteln sozusagen einen Durchschnittsweitsprung. Die einzelnen Sprünge jedoch weichen immer mehr oder weniger von diesem Durchschnittsweitsprung ab – und folgen damit einem statistischen Gesetz: dem Gesetz der Normalverteilung. Verantwortlich für die Normalverteilung sind zufällige Einflüsse wie Wind, Bodenbeschaffenheit oder auch Schwankungen im Bewegungsablauf – nie sind zwei Sprünge exakt gleich.

Steigt die Zahl der Weitsprungversuche, so steigt auch die Wahrscheinlichkeit für größere Ausreißer. Und das kann schon Mal ein neuer Rekord sein - gerade da, wo es nur um wenige Zentimeter geht.

Deutsche Rekorde

Insgesamt haben die Forscher deutsche Rekorde in 22 Leichtathletikdisziplinen von 1973 bis 1996 untersucht. Das überraschende Ergebnis dieser Untersuchung war, dass in 18 Disziplinen die Rekorde reine Zufallstreffer waren. Sie entsprachen den Voraussagen der Forscher, weil sie statistisch erwartete Ausreißer nach oben auf der Normalverteilung sind. Nur bei den Stabhochspringern, den 110-m-Hürdenläufern sowie den Gehern über 20 und 50 km gab es tatsächliche, systematische Verbesserungen.

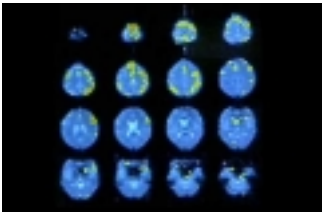
Internationale Rekorde

Ein ähnliches, wenn auch weniger eindeutiges Ergebnis fanden die Jülicher Forscher beim Vergleich internationaler Rekorde: Nur in sieben von 19 Disziplinen wurden die statistischen Vorhersagen klar übertroffen.

Einige der Rekordentwicklungen geben Anlass zu Spekulationen. Bei den Langläufern etwa wurden innerhalb weniger Jahre deutliche Verbesserungen erreicht, ohne dass äußere Faktoren (wie z. B. Regel-Änderungen oder eine neue Lauftechnik) eine Rolle spielten. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass Anfang der neunziger Jahre neue Dopingmittel auf den Markt kamen – Mittel, die zu jener Zeit noch nicht nachgewiesen werden konnten.



Sportrekorde und Hirnforschung



Zufällige Aktivitäten möchte man gerne herausfiltern

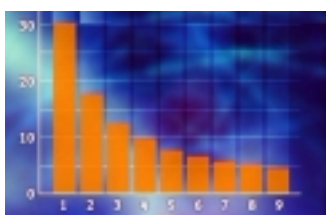
Normalerweise untersuchen die Forscher am Institut für Medizin in Jülich keine Rekorde, sondern die Aktivitäten unseres Gehirns. Die Fragen, die dabei aufkommen, sind aber ähnlich: Wie lassen sich relevante Hirnaktivitäten am besten von zufälligen Aktivitätsschwankungen unterscheiden? Mit Hilfe der Zufallsstatistik versuchen die Forscher, die Denksignale aus ihrem Umgebungsrauschen herauszufiltern. Nur so können sie aus der Unmenge von Messdaten verwertbare Rückschlüsse auf die Funktionsweise des menschlichen Gehirns ziehen.

Jan Krüger

Wenn sich Zahlen an Gesetze halten ...



Die ersten Seiten der Logarithmentafeln sind immer stärker abgegriffen als die hinteren



So verteilen sich die Anfangsziffern von Zahlen

Alles begann mit einer kuriosen Entdeckung Ende des 19. Jahrhunderts: Damals nutzten Wissenschaftler Logarithmentafeln, um komplizierte Rechnungen zu vereinfachen. Nach einigen Jahren sah man ihnen ihren intensiven Gebrauch an: Die Ecken waren abgegriffen und auch die Seiten vom vielen Blättern deutlich dunkler gefärbt. Das Erstaunliche aber war: Die ersten Seiten waren viel schmutziger als die hinteren – so als ob jene Zahlen, die mit niedrigen Ziffern beginnen, häufiger nachgeschlagen wurden als jene, die mit höheren Ziffern anfangen.

Abgegriffene Seiten führten zu einer mysteriösen Entdeckung

Diese Entdeckung veröffentlichte als Erster der Mathematiker Simon Newcomb (1835–1909): Im "American Journal of Mathematics" schrieb er im Jahr 1881, dass die "1" als erste Ziffer einer Zahl mit einer Wahrscheinlichkeit von 30,1 % auftauche. Die "2" als erste Ziffer folge mit 17,6 % und die "9" komme am seltensten vor: Lediglich 4,6 % aller Zahlen begannen mit dieser Ziffer (vgl. Abbildung links).

Das Benford-Gesetz



Der Physiker Frank Benford lebte von 1883–1948

Newcombs Entdeckung geriet in Vergessenheit. Viele Jahr später – in den 1920er Jahren – waren es wiederum Logarithmentafeln, an denen die charakteristisch erscheinende Verteilung der Ziffern neu entdeckt wurde: Der Physiker Frank Benford (1883–1948) untersuchte daraufhin die Zahlen aus ganz unterschiedlichen Lebensbereichen. Egal ob er die Länge der Flüsse in den USA, die Fläche von Seen, die Hausnummern einer Stadt oder alle Zahlen in einer Ausgabe des "Reader's Digest" untersuchte: Er fand überall, dass etwa 30 % dieser Zahlen mit einer "1" beginnen. Benford veröffentlichte seine Beobachtungen schließlich 1938. Die verblüffende Verteilung der Anfangsziffern bei Zahlen ist schließlich auch nach ihrem zweiten Entdecker "Benfords Gesetz" genannt worden.

Das Rätsel der sonderbaren Ziffern-Verteilung

Die prozentuale Verteilung der ersten Ziffern ist natürlich auch vom Zahlenbereich abhängig, aus dem die Zahlen stammen. Betrachtet man alle Zahlen von 1 bis 9, dann kommt jede Ziffer gleich häufig vor - nämlich zu je einem Neuntel (11,1%). Bei den Zahlen von 1 bis 19 sieht die Sache schon anders aus: Die "1" hat die Vorherrschaft übernommen: Sie kommt elf Mal vor; das sind 57,9%. Anders ist es bei den Zahlen von 1 bis 99: Hier sind es zwar ebenfalls elf Zahlen, die mit der "1" beginnen - prozentual sind es aber nun wiederum nur 11,1%. Führt man diese Berechnungen fort, erhält man immer wieder ähnliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen: Bei 1-1999 sind es 55,6% und bei 1-9999 hingegen wieder 11,1%. Wenn man diese beiden Extremwerte mittelt, kommt man für die Ziffer "1" auf eine Wahrscheinlichkeit von etwa 33%.

Dass die Eins immer die Nase vorn hat, kann man sich aber auch auf eine andere Art plausibel machen, z.B. bei Zahlen aus dem Wirtschaftsleben: Wenn etwa der Deutsche Aktien-Index DAX von 1000 auf 2000 Punkte steigt, muss er um 100 Prozent zulegen.

Der gleiche 1000er-Sprung von 8000 auf 9000 Punkte hingegen ist schon mit einem Zuwachs von nur 12,5 Prozent geschafft. Die Werte verharren also im Bereich der führenden Eins deutlich länger als in den anderen.

Axel Bach

Auf Verbrecherjagd mit Benford



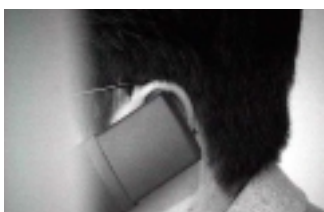
Sie halfen beim Quarks-Test: Die Mitarbeiter aus der WDR-Revisionsabteilung

Kann man mit bloßer Ziffern-Analyse Verbrechern auf die Schliche kommen? Diese Frage scheint auf den ersten Blick absurd. Aber die Antwort lautet: Man kann. Der amerikanische Professor des Buchhaltungswesens Mark Nigrini hat sich durch Benfords Gesetz inspirieren lassen: Er schrieb ein einfaches Computer-Programm, mit dem man große Zahlenmengen auf ihre Verteilung nach Benford analysieren kann. Seine Idee war: Wenn Zahlen in der Buchhaltung eines Betriebs von der Benford-Verteilung statistisch signifikant abweichen, könnten dahinter eventuell betrügerische Mitarbeiter stecken.

Quarks & Co wollte genauer wissen, was mit solch einer Ziffern-Analyse herauszufinden ist und bat die Mitarbeiter der Revisionsabteilung des WDR um Hilfe. Aus dem WDR-System luden sie die Rechnungen der letzten zwei Monate herunter: 12.372 Posten. Eine Überprüfung nach Benford ergab: Die Zahlen sind nicht auffällig. Mit ihnen war also alles OK. Nun manipulierten wir die (anonymisierten) Zahlen dreimal auf unterschiedliche Art und Weise und ließen sie von Wirtschaftsprüfern untersuchen. Würden sie herausfinden, was mit den Zahlen passiert ist?

Drei Fälle haben wir nachgestellt:

Erster Fall: Die Unterschriftengrenze



Betrügerische Mitarbeiter können ein Unternehmen im Extremfall in den Ruin treiben

Ein Mitarbeiter im Einkauf bevorzugt einen bestimmten Lieferanten, obwohl der nicht der günstigste ist. Solange die Bestellungen aber 5.000 Euro nicht überschreiten, merkt das niemand. Seinen Chef muss er nämlich erst bei größeren Anschaffungen informieren. Die Lieferfirma zeigt sich erkenntlich und spendiert hin und wieder einen Kurzurlaub ...

Für diesen ersten Fall veränderten wir die ursprünglichen Rechnungsdaten: Bei 63 Rechnungen eines Lieferanten gingen wir auf Beträge knapp unter der gedachten Unterschriftengrenze von 5.000 Euro. Wir waren gespannt: Würden die 63 geänderten Rechnungen unter den 12.372 anderen auffallen?

Hier die Analyse der Experten von Ernst & Young:

"Bei der Untersuchung dieser Daten haben wir beim Erste-Ziffer-Test Auffälligkeiten bei der Vier gefunden. Daraufhin sind wir auf einen Lieferanten gekommen, der eine vermehrte Häufigkeit bei dieser Ziffer Vier aufweist. Bei genauerem Hinsehen erkannten wir, dass diese Beträge mit der Vier als 1. Ziffer alle knapp unter 5.000 Euro liegen. Dafür kann es mehrere Gründe geben: zum Beispiel eine Unterschriftenregelung oder Ähnliches im Unternehmen."



Verdächtig ist es, wenn oft Beträge knapp unterhalb der Bagatellegrenze gebucht werden

Zweiter Fall: Die Bagatellegrenze

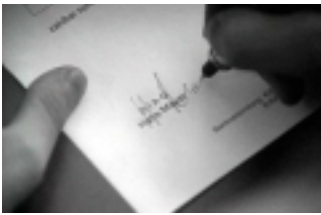
Ein schönes Ritual: Jeden Tag überweist ein Mitarbeiter Geld auf sein eigenes Konto. Das fällt nicht auf, weil es in der Firma eine Bagatellegrenze gibt: Kleinbeträge werden nicht überprüft. Aufs Jahr gerechnet kommt dabei aber einiges zusammen ...

In unserer Datei mit den ungefälschten Daten erfanden wir einen neuen Lieferanten und fügten für jede Woche fünf Überweisungen ein. Alle Beträge lagen zwischen 70 und 80 Euro. Wieder waren die Wirtschaftsprüfer an der Reihe. Dieses Mal waren aber noch weniger Zahlen geändert. Aber trotzdem wurden sie fündig:

"Bei der Ziffer Sieben haben wir eine Auffälligkeit festgestellt. Wir haben uns diese

Beträge näher angeschaut und sind auf einen Lieferanten aufmerksam geworden, der bestimmte Rechnungsbeträge zwischen 70 und knapp unter 80 Euro hatte. Es könnte sein, dass es in diesem Unternehmen eine Bagatellegrenze gibt, unter der diese Beträge liegen. Es könnte aber auch ein Systemfehler sein, weil die Beträge immer werktags gebucht wurden."

Dritter Fall: Erfundene Rechnungen



Am schwersten zu entdecken: Mitarbeiter steckt mit Lieferant unter einer Decke und zeichnet falsche Rechnungen ab

Ein Händler stellt neben den normalen Rechnungen noch weitere aus. In der belieferten Firma zeichnet sie ein Mitarbeiter ab, obwohl dafür gar keine Leistungen erbracht wurden. Am Monatsende machen die beiden halbe-halbe ...

In unserer Originaldatei erfanden wir bei einem Lieferanten für jede echte Rechnung noch eine zusätzliche gefälschte. Dieser Test war besonders schwierig: Insgesamt fügten wir nämlich nur 20 Rechnungsposten ein. Und tatsächlich: In der großen Datenmenge waren diese 20 zufällig ausgedachten Rechnungssummen nicht mehr auffällig. Aber: Immerhin zwei der drei Betrüger wären schon mit der einfachen Benford-Analyse aufgefliegen.

Axel Bach

Der Zufall in der Forschung

Auf den Kopf gefallen?

Die größten Errungenschaften der Menschheit werden angeblich oft durch Zufall entdeckt. Eine der beliebtesten Anekdoten in diesem Zusammenhang ist die Geschichte, wie der Physiker Isaac Newton zum Gravitationsgesetz gekommen sein soll. Es heißt, Newton wäre im Jahre 1665 ein Apfel auf den Kopf gefallen. Dieser Vorgang habe ihm die Kraft der Erdanziehung schmerzlich in Erinnerung gerufen und ihn schließlich zum Aufstellen des Gravitationsgesetzes inspiriert. Doch vermutlich hat Newton diese Anekdote selbst erfunden – der Apfel diene lediglich zur Veranschaulichung eines Problems, über das er jahrelang nachgedacht hatte.

Schimmel im Labor

Zumindest aber die Entdeckung des Penicillins ist ohne die entscheidende Mitwirkung des Zufalls kaum denkbar. Der Arzt Alexander Fleming ließ im September 1928 seine Petrischalen mit Streptokokken-Kulturen offen in seinem Labor herumstehen und fuhr in Urlaub. Bei seiner Rückkehr bemerkte er, dass ein Schimmelpilz Teile seiner Bakterienkulturen abgetötet hatte. Der Pilz hieß *Penicillium notatum*. Doch es dauerte noch über zehn Jahre, bis Fleming daraus – mit Hilfe der Wissenschaftler Howard Florey und Ernst Chain - das Penicillin entwickelte. Fleming war übrigens nicht der Erste, der die bakterientötenden Eigenschaften des Schimmelpilzes entdeckte: Die Ärzte John Sanderson, Joseph Lister und William Roberts hatten schon lange vor ihm ähnliche Mittel gegen Bakterien eingesetzt. Möglicherweise hatte nur der Zufall verhindert, dass sie daraus in großem Stil Antibiotika gewinnen konnten.

In die Röhre geguckt

Auch der Physiker Wilhelm Conrad Röntgen hätte seine bedeutendste Entdeckung wohl nicht gemacht, wenn er in seinem Labor mehr Ordnung gehalten hätte. Er experimentierte im November 1895 mit Gasentladungs-Röhren. Eines Tages bemerkte er, dass fluoreszierende Kristalle, die zufällig in der Nähe lagen, beim Einschalten der Röhre leuchteten. Eine bis dahin unbekannte Art von Strahlen war ausgetreten. Röntgen überließ nach dieser Entdeckung nichts mehr dem Zufall: Systematisch untersuchte er diese Strahlen, die er "X-Strahlen" nannte und die heute seinen Namen tragen. Er bestrahlte damit alle möglichen Materialien und entdeckte, dass man mit den "X-Strahlen" die Knochen einer Hand sichtbar machen konnte. Röntgen erhielt für seine Arbeit 1901 den ersten Nobelpreis für Physik.

Ein Kleber, der nicht richtig klebt

Eine andere immer wieder gern erzählte Geschichte ist die von den "Post-It"-Haftetiketten. Der Kleber, der nicht richtig klebte, war schon erfunden - nur wusste niemand, wozu er gut war. Der Zufall kam ins Spiel, als ein Mitarbeiter der Herstellerfirma in seinem Gesangbuch die Lieder markieren wollte, die im Gottesdienst zu singen waren. Ein Klebe-Etikett, das man mühelos wieder entfernen

konnte, war die Lösung. Ob diese Anekdote vom Zufall und dem Kleber wirklich wahr ist? Sicher ist allerdings, dass der Mitarbeiter, dem die Geschichte angeblich passiert ist, in der Marketing-Abteilung der Firma arbeitete.

Nicht alle Gläser im Schrank



Durch Zufall entdeckt: die Entwicklung von Fotos

Der Zufall allein bringt meistens nicht den Durchbruch. In der Regel ist es jahrelange Forschungsarbeit, die dazu führt, dass der Zufall das entscheidende Quäntchen an Erkenntnis hinzufügen kann. So geschehen im Fall des französischen Malers Louis Jacques Mandé Daguerre. Daguerre malte große Dioramen mit Hilfe der Anfang des 19. Jahrhunderts in Mode gekommenen Camera obscura. Er projizierte die Bilder auf große Leinwände und malte sie ab. Deshalb lag der Gedanke nahe, ein Verfahren zu entwickeln, das ihm die mühsame Arbeit abnahm: die Fotografie. Daguerre experimentierte jahrelang, bis er herausfand, dass Silberplatten, die mit Jod oder Brom bedampft waren, das Bild der Camera obscura festhalten konnten – allerdings brauchte er dazu stundenlange Belichtungszeiten. Der Zufall kam ins Spiel, als er eines Tages im Jahr 1829 eine Belichtung abbrechen musste, weil sich Wolken vor die Sonne geschoben hatten. Er legte die Platte zurück in seinen Chemikalien-Schrank. Doch als er ihn später wieder öffnete, stellte er fest: Die Platte war entwickelt und sie zeigte sogar ein klareres und deutlicheres Bild als bei seinen früheren Versuchen. Den Grund für die überraschende Entwicklung fand er erst, als er nach und nach sämtliche Chemikalien aus dem Schrank geräumt hatte: In den Fugen des Schrankes hatten sich Quecksilberkügelchen gesammelt. Die Quecksilberdämpfe hatten das Bild der belichteten Platte entwickelt. Es dauerte noch ein paar Jahre bis Daguerre seine Fotos nicht nur entwickeln, sondern auch fixieren konnte. Ab Mitte der dreißiger Jahre des neunzehnten Jahrhunderts fand die nach ihm benannte Daguerreotypie eine große Verbreitung – bis sich die Entdeckung des Engländers Henry Fox Talbot durchsetzte: das Negativ-Positiv-Verfahren. Mit ihm konnte man von einer Aufnahme so viele Abzüge machen, wie man wollte.

Martin Rosenberg

Wie bezwinde ich das Roulette?

Einen Roulettetisch mit den Taschen voller Geld zu verlassen, davon haben schon viele geträumt. Einige haben es mit Magneten unter dem Tisch versucht, andere schwören auf das Glück, das sie in Begleitung einer schönen Frau haben. Das System des Roulettes wirklich zu knacken, haben nur wenige geschafft: Eine Gruppe von jungen Physikern und Computer-Freaks plünderten in den 70er Jahren etliche Casinos - und das mit Hilfe einer neuen wissenschaftlichen Theorie: der Chaostheorie.

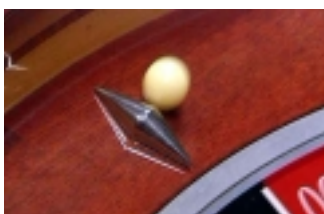
Das Prinzip des Spiels



In welchem Sektor des Zahlenkranzes bleibt die Kugel liegen?

Das Roulette ist ein einfacher Zufallsgenerator, wie ein Würfel oder die Lottomaschine. 37 Felder gibt es beim Roulette, die alle gleich wahrscheinlich sind. Der Spieler hat also die Wahrscheinlichkeit $1/37$, dass seine Zahl fällt - dann bekäme er allerdings nur das 36fache seines Einsatzes ausgezahlt. Insgesamt ergibt sich so ein mittlerer Verlust von $1/37$ oder ungefähr 2,7 Prozent. (In der Regel muss der Spieler bei einem Gewinn auch noch ein Trinkgeld in Höhe des einfachen Einsatzes für das Personal geben. Die Verlustwahrscheinlichkeit liegt deshalb bei 5,4 Prozent). Langfristig muss der Spieler also - wie bei allen Glücksspielen - verlieren, egal welche Einsatzstrategie er verfolgt. Es gibt aber dennoch eine Chance das Roulette zu bezwingen, denn es ist ein realer und kein idealer Zufallsgenerator.

Chaos im Kessel



Bei der Kollision mit einer Raute beginnt das chaotische Verhalten

Ein Roulettewurf läuft immer nach dem gleichen Schema ab. Als erstes setzt der Croupier das Rad mit einer Hand in Bewegung. Mit der anderen Hand wirft er die Kugel gegen die Drehrichtung des Kessels. Für 10 bis 15 Sekunden kreist sie am Rand entlang. Bis jetzt ist alles streng berechenbar. Wenn die Kugel langsamer wird, bewegt sie sich Richtung Kesselmitte. Dann kollidiert sie mit einer der Metallrauten, die auf dem Rand angebracht sind. Hier beginnt das eigentlich zufällige Verhalten des Roulettes: Die Kugel springt, stößt gegen den Rand einiger Fächer und bleibt schließlich im Fach einer Zahl liegen.

Bei jeder dieser Kollisionen gelten die Gesetze der Physik. Die Bewegung ist also theoretisch "vorherbestimmt". Allerdings ist es praktisch unmöglich, den Lauf der Kugel zu berechnen. Das Roulette ist nämlich ein chaotisches System: Jede kleine Abweichung im Lauf der Kugel führt zu einer leicht anders gearteten Kollision. Mit jedem Hüpfen setzt sich dieser Fehler fort. Irgendwann ist jede Berechnung genauso unzuverlässig wie der reine Zufall. Das gilt allerdings nur unter idealen Bedingungen.

Schwachstelle Croupier

Eine Schwachstelle im System ist der Croupier. Er steht pro Schicht mehrere Stunden am Roulettetisch und wiederholt immer den gleichen Bewegungsablauf. Bei vielen Croupiers führt das dazu, dass sich die einzelnen Würfe sehr ähneln: Er dreht das Rouletterad mit der gleichen Geschwindigkeit, wirft die Kugel mit dem gleichen Schwung. Deshalb ist der Bereich, wo die Kugel den Rand verlässt, dann auch nicht mehr zufällig. Ein erfahrener Spieler kann bei einem Croupier, der sehr regelmäßig



Der Croupier wirft die Kugel gegen die Drehrichtung des Kessels.

wirft, aus der Position der Roulettescheibe beim Abwurf den Auftreffpunkt grob abschätzen. Diese vage Methode kann ausreichen, den knappen Nachteil von 5,7 Prozent in einen knappen Vorteil zu verwandeln und langfristig zu gewinnen!

Angriff mit Stoppuhr und Computer

Die zweite Methode ist aufwendiger, beruht aber auf dem gleichen Prinzip. Gelingt es einem Spieler, die exakte Geschwindigkeit der Roulettekugel zu messen, so kann er die Raute, mit der die Kugel kollidiert, mit hoher Wahrscheinlichkeit vorhersagen. Zusätzlich muss er die Drehgeschwindigkeit der Scheibe ermitteln. Mit diesen Daten und einem geeigneten Computerprogramm kann der Spieler dann den Zielbereich der Kugel auf dem Zahlenkranz stark eingrenzen. Die Gewinnchancen steigen auf diese Art uns Weise auf über 30 Prozent - möglicherweise sogar noch viel höher.

Die Casinos sehen solche Methoden natürlich nicht gern. In den USA ist der Einsatz von technischen Hilfsmitteln - und dazu zählen im strengsten Fall auch Uhren - sogar strafbar. In Deutschland riskiert man ein mehrjähriges Hausverbot in allen Casinos. Die Tradition der Rechnerattacken auf das Roulette ist alt. Schon in den späten siebziger Jahren experimentierte eine Gruppe von Physik-Studenten, Computer-Freaks und Bastlern mit versteckten Rechnern. Ihnen gelang das Kunststück und sie plünderten etliche Casinos. Einige von ihnen wurden später als Wissenschaftler erfolgreich: Sie gehören zu den Pionieren eines neuen Forschungszweiges: der Chaostheorie.

Daniel Münter

Die Erzeugung des Zufalls

Zufall ist nicht gleich Zufall. Wenn Mathematiker über den Zufall sprechen, dann meinen sie den Zufall als Idealzustand und nicht als reale Gegebenheit. Bei einem idealen Münzwurf beispielsweise hätten beide Seiten der Münze die absolut gleiche Wahrscheinlichkeit von $1/2$ oben zu liegen. Auch der Münzwerfer dürfte den Ausgang nicht durch seine Wurftechnik beeinflussen. Solche Münzen und Werfer mag es in der Mathematik geben, in der realen Welt ist die Erzeugung des Zufalls alles andere als einfach.

Zufall ist Chaos



Das Resultat eines Wurfes ist schwer berechenbar

Die meisten Zufallsgeneratoren, denen wir im Alltag begegnen, sind so genannte chaotische Systeme. Würfel und Münze gehören ebenso dazu wie Lottomaschine und Roulette. Chaos bedeutet in diesem Zusammenhang die empfindliche Abhängigkeit des Ergebnisses von den Anfangsbedingungen. Ein kleiner Unterschied in der Bahn der Roulettekugel kann zu einer großen Abweichung des Zielfaches führen. Trotzdem sind die chaotischen Zufallsgeneratoren im Prinzip berechenbar. Wenn ein Beobachter die genaue Position und Geschwindigkeit aller bewegten Teile messen könnte und ihm dazu sämtliche Materialeigenschaften bekannt wären, könnte er das Ergebnis exakt vorhersagen.

Vielteilchensysteme

Je mehr bewegte Teile ein chaotisches System enthält, desto schwieriger wird es, den Ausgang auch nur annähernd zu berechnen. Bei der Lottomaschine mit ihren 49 bewegten Kugeln kann man das gut beobachten: Sie lässt sich nicht wie das Roulette überlisten.

Als zuverlässigste Quelle des Zufalls haben sich deshalb komplexe Systeme bewährt. Ein Beispiel dafür ist die "Brownsche Molekularbewegung". Das Phänomen wurde erstmals 1827 von dem schottischen Botaniker Robert Brown beschrieben: Schwebende Teilchen z. B. Latexteilchen in Flüssigkeiten, Fett-Teilchen in der Milch oder Rauchteilchen in der Luft vollführen merkwürdige, plötzliche Zickzack-Bewegungen. Mit bloßem Auge lässt sich keine Erklärung dafür finden, denn es sind keine Stoßpartner der Schwebeteilchen zu erkennen. Die Bewegung wird durch Stöße der viel kleineren Moleküle des Mediums (also des Wassers, der Milch bzw. der Luft) verursacht. Ein Milliliter Wasser enthält aber mehr als 10^{23} Wassermoleküle. Die Berechnung der Bewegungsbahnen der Moleküle ist bei dieser extrem großen Zahl ein völlig aussichtsloses Unterfangen.

Quantenzufall

Die faszinierendste Art des Zufalls regiert das mikroskopisch Kleine. Die Quantenphysik beschreibt die Welt der Protonen, Lichtteilchen, Elektronen und anderer Elementarteilchen. Hier kann man nach Meinung der meisten Physiker den einzig wahren Zufall studieren. Zu diesem Zweck haben Physiker der Universitäten Wien und München einen Quantenzufallsgenerator entwickelt, der folgendermaßen funktioniert: Eine schwache Lichtquelle, z. B. ein Laser oder eine Leuchtdiode, sendet einen Strom



Ranga Yogeshwar erklärt das Prinzip des Quantenzufallsgenerators

von Lichtteilchen (Photonen) aus. Der Lichtstrahl wird an einem halbdurchlässigen Spiegel geteilt. Die Hälfte der Lichtteilchen dringt hindurch und trifft dahinter auf ein Messgerät. Die andere Hälfte wird reflektiert und dann in einem zweiten Messgerät aufgefangen. Ähnlich wie beim Münzwurf hat das einzelne Photon eine Wahrscheinlichkeit von $1/2$ in einen der beiden Detektoren zu treffen. Es gibt jedoch keinen inneren Mechanismus, der das Photon in die eine oder andere Richtung stößt. Und genau das ist der Unterschied zu allen anderen Zufallsgeneratoren. Der Zufall ist in den Formeln der Quantenphysik enthalten. Seit etlichen Jahrzehnten ersinnen die Forscher immer neue Experimente, um das zu beweisen oder vielleicht doch einen verborgenen Mechanismus zu finden. Albert Einstein war einer der prominentesten Kritiker des "eingebauten Zufalls". Sein abschätziger Kommentar: "Gott würfeln nicht!" Nach unserem heutigen Wissensstand ist es sehr wahrscheinlich, dass er doch gewürfelt hat...

Daniel Münter

200.000.000.000 Sterne ...



Der Weltraum. Unendliche Weiten ...

... gibt es allein in unserer Galaxie, der Milchstraße. Welten, die von der Phantasie zahlloser Science-Fiction-Autoren mit den kuriosesten Lebewesen bevölkert wurden. Schaut man jedoch mit den Augen der modernen Naturwissenschaft in den Weltraum, wird eines klar: Die Suche nach Geschöpfen, die Ähnlichkeit mit unserer Vorstellung von Leben haben, führt weit hinaus ins All.

Unbewohnbare Zonen



Nur in einem schmalen Gürtel um die Sonne kann flüssiges Wasser existieren

Nicht jeder Ort im All eignet sich für die Entstehung von Leben gleich gut:

- Nahe eines galaktischen Zentrums sind explodierende Sonnen an der Tagesordnung: so genannte Supernova-Explosionen. Dadurch entsteht eine Art Hochenergie-Grill, der auf allen benachbarten Planeten Leben unmöglich macht.
- Am Rand der Galaxien gibt es kaum schwere Elemente. Ohne sie können jedoch keine Planeten mit fester oder flüssiger Oberfläche entstehen.
- Nur ein schmaler Gürtel rund um unsere Sonne bietet Temperaturen, die flüssiges Wasser zulassen. Flüssiges Wasser ist aber Grundvoraussetzung für die Entstehung von Leben, wie wir es kennen.

Mond und Jupiter schützen die Erde



Die Masse des Mondes stabilisiert die Rotationsachse der Erde

Nicht nur die Position im Sonnensystem, auch die planetaren Nachbarn können die Chancen auf Leben entscheidend verbessern:

Der Erdenmond ist – im Vergleich zur Erde – ungewöhnlich schwer. Seine Masse stabilisiert die Rotationsachse der Erde. Gäbe es den Mond nicht, könnte es der Erde wie dem Mars ergehen: Die Achse des Mars kippt alle paar Millionen Jahre unvermittelt um bis zu 60 Grad. Innerhalb kürzester Zeit tauschen Nordpol und Äquator ihre Plätze. Auf der Erde käme es dadurch zu einer Klimakatastrophe, die jede bisherige Eiszeit in den Schatten stellen würde.

Ebenso vorteilhaft wirkt sich die Position des Jupiters für das Leben auf der Erde aus. Er kreist weit außen in unserem Sonnensystem und wirkt wie ein natürliches Schutzschild: Mit Hilfe seiner Schwerkraft fängt er anfliegende Asteroiden ab und schleudert sie zurück ins All.

Ursuppe und Zufall



Die erste DNA markiert den Beginn des Lebens

Es müssen also sehr viele günstige Umstände zusammentreffen, damit auf einem Planeten Leben entstehen kann. Wir sprechen dann von einem ab-initio-Planeten. Aber wie überhaupt entsteht auf einem solchen ab-initio-Planeten "Leben" aus dem "Nichts"?

Auf der Oberfläche eines ab-initio-Planeten gibt es neben flüssigem Wasser andere Elemente wie Kohlenstoff, Phosphor, Stickstoff usw. Gemeinsam bilden sie einen Chemikaliencocktail, die so genannte Ursuppe. Experimente haben gezeigt, dass unter Energiezufuhr in dieser Ursuppe einfache organische Verbindungen entstehen können.

Damit man von Leben sprechen kann, müssen sich diese organischen Verbindungen identisch vervielfältigen können. Das leistet die Erbsubstanz, die so genannte DNA. Aber da gibt es ein Problem: In ihrer Zusammensetzung ist die DNA extrem komplex - zu komplex, um allein durch zufällige Kombination der einzelnen Teile entstanden zu sein. Wie also ist die DNA entstanden?

Ausnahmefall Leben



Die Erde: ein kosmischer Glücksfall

Die Entstehung der DNA ist eines der großen Rätsel auf der Suche nach den Ursprüngen des Lebens. Erstaunlicherweise scheint dieser enorme Entwicklungsschritt auf der Erde vergleichsweise wenig Zeit beansprucht zu haben: Erste Formen von DNA haben sich bereits nach wenigen hundert Millionen Jahren auf der Erde gebildet. Bis zur Entstehung von höherem Leben hat es danach noch einmal fast 3,5 Milliarden Jahre gedauert!

Ist die Entwicklung von Leben auf der Erde das Ergebnis einer langen Kette unglaublicher Zufälle oder letztlich eine fast zwangsläufige Entwicklung? Bis heute können die Wissenschaftler diese Frage nicht beantworten. Alle Erkenntnisse deuten jedoch darauf hin, dass Leben im kosmischen Vergleich Seltenheitswert besitzt. Wahrscheinlich müssen wir weit über unsere Galaxie hinausschauen, um ein nicht-irdisches Geschöpf zu erblicken.

Jan Krüger

Lesetipps

Hergovich, Andreas

Der Glaube an PSI - Die Psychologie paranormaler Überzeugungen

Hans Huber Verlag,

ISBN : 3-456-83643-0

1999

Broschiert, 242 Seiten

Preis ca. 26,95 Euro

Der Psychologe Andreas Hergovich von der Univesität Wien untersucht die Psychologie des Glaubens an das Paranormale. Unter anderem rückt er mit etwas viel Statistik dem Problem des empirischen Nachweises von PSI- Phänomenen auf die Pelle. Zum Glück lässt es Hergovich aber nicht an farbigen Beispielen mangeln. Mit einem separaten Kapitel zum Thema Psyche und Zufall.

Basieux, Pierre

Die Welt als Roulette - Denken in Erwartungen

Rowohlt TB,

ISBN : 3-499-19707-3

Broschiert

Preis ca. 8,50 Euro

Der Mathematiker Pierre Basieux beschäftigt sich schon seit Jahrzehnten mit Gewinnstrategien beim Roulette. In einem eigenen kleinen "Labor" hat er an eigenen Roulettetischen unzählige Male die Kugel geworfen und mit Statistik, Lichtschranke und High – Speed – Film analysiert. Herausgekommen ist ein unglaubliches Detailwissen um die Schwächen des realen Roulettes. Seine Tipps haben wir allerdings noch nicht im Casino überprüft.

Krämer, Walter

Denkste! Trugschlüsse aus der Welt des Zufalls und der Zahlen

Pieper Verlag

ISBN : 3-492-22443-1

Kartoniert, 188 Seiten

Preis ca. 7,90 Euro

Walter Krämer zeigt, dass viele Phänomene, die mit Statistik und Wahrscheinlichkeit zu tun haben, unserer Intuition widersprechen. Dieses Buch führt Beispiele in Text und Bild vor. Eine ideale Bettlektüre für Zahlenfreunde.

Zankl, Heinrich

Die Launen des Zufalls. Wissenschaftliche Entdeckungen von Archimedes bis heute

Primus Verlag

ISBN: 3-896-78428-5

Preis ca. 14,90 Euro

Auch der Genetiker Heinrich Zankl kennt solche Geschichten, die er in sieben große Forschungsbereiche sortiert.

Dacunha-Castelle, Didier

Spiele des Zufalls

Gerling-Akademie-Verlag

ISBN: 3-932425-00-6

Kartoniert, 304 Seiten

Preis ca. 30,20 Euro

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung (die Wissenschaft vom Zufall) erhält eine immer größere Bedeutung im alltäglichen Leben: Versicherungen, medizinische Diagnostik, Risikostudien oder die Wettervorhersage bedienen sich ihrer. Das Buch überprüft die Anwendungen der Wahrscheinlichkeitstheorie in unserer Gesellschaft und erläutert die zentralen Begriffe.

Tarassow, Lew

Wie der Zufall will? Vom Wesen der Wahrscheinlichkeit

Spektrum Verlag

ISBN: 3-8274-0474-6

Broschiert, 202 Seiten

Preis ca. 9,95 Euro

Ruelle, David

Zufall und Chaos

Springer Verlag

ISBN: 3-540-55168-9

Broschiert, 207 Seiten

Preis ca. 10,00 Euro

Bosch, Karl

Lotto und andere Zufälle. Wie man die Gewinnquoten erhöht

Oldenbourg Verlag

ISBN: 3-8274-0474-6

Kartoniert, 202 Seiten

Preis ca. 9,95 Euro

Der Mathematikprofessor Karl Bosch führt am Beispiel des Lottospiels in die Grundbegriffe aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik ein und stellt die Auswertung von fast 7 Millionen Tippreihen vor.

Bass, Thomas A.

Der Las Vegas-Coup. Computergenies sprengen die Bank

Fischer Verlag

ISBN: 3-764-32603-4

Broschiert

Preis ca. 20,35 Euro

Der Autor Thomas Bass gehört zu der Truppe von Computer-Freaks, die in den späten Siebzigern auszogen, mit dem Computer im Schuh das Roulette zu schlagen. Sein Buch ist weniger ein technischer Bericht als eine romanhafte Nacherzählung des verrückten Unternehmens.

Martin Schneider

Teflon, Post-it und Viagra. Große Zufallsentdeckungen

Wiley-Vch 2002

ISBN 3527298738

Preis: 24,90 Euro

Der Wissenschaftsjournalist Martin Schneider erzählt Geschichten zufälliger Entdeckungen quer durch alle Disziplinen. Vom Teflon über die Magengeschwüre bis hin zur Entdeckung der Kernspaltung, Lachgas und Viagra.

Walter, Ulrich

Zivilisationen im All

Spektrum Verlag

ISBN: 3-827-40486-X

Broschiert

Preis ca. 25,57 Euro

Spannende Überlegungen zu möglichem außerirdischen Leben, ergänzt durch wissenschaftliche Hintergrundinformationen und viele Darstellungen

Linktipps

Die Gehirnforscherin Helen Pearson zur Zufälligkeit von Sportrekorden
www.nature.com/nsu/020527/020527-5.html

Das Benford Gesetz: Geschichte, Gültigkeit und Theorie
<http://matheag-sii.bildung-rp.de/assets/html/Benford/index.htm>

Benfords Gesetz: Internettrainingskurs der TU Dresden
<http://www.dresdenalgorithmicschannel.de/modul45/task45.htm>

Homepage von Mark Nigrini (englisch)
http://www.nigrini.com/benford's_law.htm

Beitrag von Mark Nigrini: "I've got Your Number" (englisch)
<http://www.aicpa.org/pubs/jofa/may1999/nigrini.htm>

Digitale Ziffernanalyse
<http://www.zmija.de/ziffernanalyse.htm>

Firmen, die Analyse-Software programmieren:

Audicon GmbH: <http://www.audicon.net/>
ACL Deutschland: <http://www.acl.com/de/>
Revidata: <http://www.revidata.de/index1.htm>

Ernst & Young AG
<http://www.ey.com/global/content.nsf/Germany/Home>

Kurzer Ausschnitt aus Krämers Buch zum Thema "Kleine Welt" - Phänomen
<http://www.propeller.ch/globalvillage.htm>

1999 startete die Wochenzeitschrift "Die Zeit" den Versuch, einen Falafelverkäufer aus Berlin über ein paar Ecken mit Marlon Brando zu verbinden und so das "Kleine Welt" - Phänomen experimentell zu bestätigen. Hier lässt sich der Weg der Bekanntschaft nachvollziehen.
http://www.zeit.de/1999/20/199920_hier_ziehts.html

Dr. Ulrich Hoffrage: Didaktikforschung – Risiken richtig einschätzen.
In: Max-Planck-Forschung 1/2001, S.11. Oder:
http://www.mpg.de/deutsch/aktuell/forschung/01_1/mpf01_1_010_011.pdf

Die Homepage des Forschungsbereiches "Adaptives Verhalten und Kognition" am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung:
<http://www.mpib-berlin.mpg.de/de/forschung/abc/index.htm>

Das DFG-Projekt "Wahrscheinlichkeit im Klassenzimmer" (mit dem Beispiel der AIDS-Berater):
<http://www.mpib-berlin.mpg.de/de/forschung/abc/stochastik.htm>

Über den Nutzen eines Mammographie-Screenings siehe: <http://www.mammographie-screening-online.de/>