

# REZENSIONEN

## RESSOURCEN SAND FÜR SIRI, FRACKING UND CO.

**Der Journalist Vince Beiser bietet einen Rundumblick auf den knapp werdenden Rohstoff Sand: von Bauten, dem Internet und tödlichen Folgen für Korallenriffe und Menschen.**

► Beton sei die Hauptursache für die globale Sandkrise, schreibt der Autor. Wieso Krise? Suggestiert ein Sprichwort nicht unbegrenzte Vorräte: »Das gibt es wie Sand am Meer«? Tatsächlich werden ganze Inseln abgebaggert, riesige Areale Meeresboden abgesaugt und Korallenriffe zugeschlammt. Sogar von Friedhöfen in Flussnähe wird Sand geplündert,

um an den knapp werdenden Rohstoff zu kommen. Inzwischen protestieren Menschen gegen den Sandraub von ihren Lieblingsstränden, blockieren Straßen und fordern Maßnahmen gegen illegalen Abbau. Denn es ist nicht der »unendlich« erscheinende Wüstensand, der so begehrt ist: Die Körner aus Quarz müssen scharfkantig sein, nur so verleihen sie Baustoffen wie Beton die nötige Festigkeit. Sonst sei es, als würde man mit Murmeln anstatt mit Klötzen bauen wollen, erklärt der US-amerikanisch-kanadische Journalist Vince Beiser in seinem neuen Buch. Die kantige Form haben

Sandkörner aber bloß, wenn sie aus unterirdischen Lagerstätten oder aus dem Wasser stammen. In Wüsten werden die Körner mit großer Wucht hin und her gestoßen und regelrecht rund gerollt – das macht sie für stabile Bauwerke ungeeignet.

Inzwischen werden wegen Sand sogar Morde begangen. Zudem verursache der Abbau Umweltschützern Albträume, resümiert Beiser. Als Journalist ist er an viele Orte gereist, wo der Sandabbau verheerende Auswirkungen auf die Umwelt hat.

Er schildert, wie die »wichtigste feste Substanz auf Erden« die Gesellschaft verändert. So führten Autobahnen zum Entstehen einer Fastfood-Kultur, Glasflaschen prägten das Trinkver-



halten, und der Bau des Panamakanals aus Beton mit dem Zuschlagstoff Sand beeinflusse den internationalen Transport. Zwar wird Sand hauptsächlich für Beton benötigt, doch auch Glas und Implantate aus Silikon basieren auf dem Rohstoff. Und wenn Siri eine Bestellung aufnehmen soll, brauchen die Computerchips nicht nur Silizium. Die elektronischen Bausteine werden in hochreinen Quarztiegeln produziert, die ebenfalls viel Sand benötigen.

Mittlerweile verbraucht man weltweit um die 50 Milliarden Tonnen Sand jährlich. Und es kommt ein neuer Verbraucher hinzu: Gas- und Öl-Fracking. Der Fracking-Sand wird dabei in die unterirdischen Lagerstätten gepresst, um die künstlich aufgebroche-

**ÜBERFLUSS** Das gibt es doch wie Sand am Meer! Aber so einfach ist es leider nicht.

nen Risse durchlässig zu halten. Für diese Art der Förderung verschwinden tausende Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche und Vogelschutzgebiete. In den Gegenden, in denen der Fracking-Sand gesammelt wird, gehen Menschen teilweise mit Atemschutzmaske vor die Tür. Denn der feine Quarzsand kann eine besonders schwere Lungenerkrankung verursachen, wenn die Maschinen viel Feinstaub aufwirbeln.

Beiser schreibt nicht nur sehr anschaulich, er bringt der Leserschaft die Fülle an Wissen zudem auf unterhaltsame Weise nahe. In seinen stimmungsvollen Berichten erzählt er beispielsweise, wie er Chuck, den Schichtleiter eines Sandwerks, im Kontrollraum besucht oder dass die Flanken von Hügeln aussehen wie mit einem Küchenmesser verstümmelt. Er öffnet den Lesenden die Augen, wo überall in unserer Umwelt Sand gefördert und benötigt wird und welche Folgen das hat, und wirft einen ganzheitlichen Blick auf die positiven sowie negativen Auswirkungen dieser »Gier« nach dem Rohstoff.

Dabei schildert der Autor nicht bloß die Folgen für die Natur, sondern auch die für uns Menschen. So steigen inzwischen die Preise für Sand, wodurch sich Slums weiter ausbreiten, da einige sich Bauten aus Sand und Beton nicht mehr leisten können. Beiser vergisst nicht die Arbeiter, meist Kinder, die durch Unfälle beim Sandabbau sterben oder wenn Überflutungen und Abbrüche von Flussufern ganze Siedlungen auslöschen. Oder diejenigen, die gegen den Abbau demonstrieren und deswegen bedroht oder gar getötet werden. Laut Beiser gibt es deutlich mehr als 70 Mordopfer allein in Indien, darunter Journalisten, Aktivistinnen und Polizeibeamte.

In vielen Industrieländern ist der Sandabbau mittlerweile verboten. Das führe aber nur dazu, dass das Problem dorthin exportiert wird, wo es laschere Gesetze gibt oder sich die Menschen weniger wehren können, so der Autor. Eine Lösung sei eine Art Fair-Trade-Bewegung ähnlich der für Textilien oder Kaffee – ebenso beim Import von Fracking-Gas.

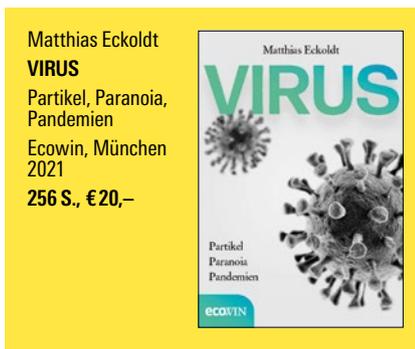
Katja Maria Engel ist promovierte Materialforscherin und Wissenschaftsjournalistin in Dortmund.

## VIROLOGIE EXPEDITION IN DEN MIKROKOSMOS

**Der Wissenschaftsautor Matthias Eckoldt legt ein neues Werk vor, in dem er die Geschichte über die Erforschung von Viren spannend und anschaulich vorstellt.**

► Sie sind rund 10000-mal kleiner als ein Sandkorn, und es gibt 100-mal mehr von ihnen auf unserer Erde als Sterne im Weltall. Diese verblüffend anschaulichen Vergleiche sind Auftakt eines Buchs, das sich mit dem faszinierenden Universum der Viren beschäftigt: von den Gigaviren der Vorzeit bis hin zu den Typen, welche die Welt bis heute in Atem halten, wie HIV, Ebola, Krebs erzeugende Viren und natürlich das neue Coronavirus Sars-CoV-2.

Der vielfach ausgezeichnete Wissenschaftsautor Matthias Eckoldt legt sein Buch zur rechten Zeit vor, denn die aktuelle Pandemie entfacht ein nie gekanntes Interesse der breiten Öffentlichkeit an Fragen der Virologie. Anders als das Cover vermuten lässt, geht es erst im letzten der sechs Kapitel um Corona und Co – das tut der wissenschaftlichen Tiefe aber



keinen Abbruch. Bis dahin packt der Autor seine Leserschaft mit einer ungeheuren Vielfalt an Themen rund um die Virologie. Allesamt sind gut lesbar, doch mit Liebe zum Detail verfasst, so dass bei der Lektüre ein Grundverständnis und tieferes Interesse an Biomedizin von Vorteil ist.

So geht es um die evolutionäre Entstehung von Viren, um die ver-

schiedenen Arten und ihre parasitären Überlebensstrategien. Der Autor beschreibt die großen Pandemien und Epidemien der Menschheitsgeschichte von Pest und Pocken über die (Spanische) Grippe bis hin zur Kinderlähmung (Polio). Dabei begibt er sich auf eine Zeitreise durch die Jahrhunderte und lässt die Leserschaft an der nervenaufreibenden Suche nach dem Faszinosum Virus teilhaben, das sich – lange unsichtbar und namenlos – erst in den 1930er Jahren unter dem Elektronenmikroskop zu erkennen gibt.

»Im historischen Kontext wird entwickelt, was Forscher – oft unter Einsatz ihres Lebens (und des von anderen) – über Viren in Erfahrung gebracht haben«, kündigt Eckoldt im Vorwort an. Dabei sind es die Ausflüge in Politik und Zeitgeschichte der jeweiligen Epochen, insbesondere der Nazizeit, die das Buch so außergewöhnlich lesenswert machen. Stellenweise liest es sich wie ein Krimi, etwa wenn der Autor die ethisch zu verurteilenden Menschenversuche und Impfexperimente nicht nur der jüngeren Geschichte beschreibt. Eine beachtliche Zahl an Quellen und Literaturhinweisen ist am Ende aufgeführt. Auch ein Sach- und Personenregister bereichert das Buch, in das Leben und Werk etlicher großer Forscher mit einfließen, von der Antike bis zur Gegenwart. Abbildungen sind dagegen leider kaum zu finden.

Sind Krankheiten die Strafe Gottes? Können giftige Ausdünstungen, verunreinigte Luft oder elende Biestchen die Ursache sein? Von Hippokrates und Aristoteles und ihren Überlegungen zur Krankheitsentstehung bis hin zur Lichtmikroskopie, die Ende des 17. Jahrhunderts das Tor zur Welt der Mikroorganismen aufstieß, weil sie zumindest die viel größeren Bakterien sichtbar machte, war es ein weiter Weg, den Eckoldt sehr detailliert nachzeichnet.

Von Louis Pasteur, Robert Koch und vielen weiteren Wegbereitern der Mikrobiologie geht die Reise bis mitten hinein in die moderne Virologie und Gentechnik, die virale Vektoren als Gefahren nutzt, um die Erbanlagen

von Zielorganismen zu verändern. Eckoldt zeigt auf, was in Medizin und Landwirtschaft heute möglich ist, und referiert über optimierte Nutzpflanzen, transgene Mücken und erbgutbasierte Impfstoffe. Dabei macht er sich nicht zum Fürsprecher, sondern bleibt kritisch, wägt ab, diskutiert unabsehbare Folgen und warnt vor der Gefahr des Bioterrorismus. Er argumentiert erfreulich faktenorientiert und widerlegt aktuell kursierende Verschwörungstheorien.

Und noch etwas macht das Buch klar: Das Geschäft mit der Wissenschaft ist hart. Eckoldt kennt unterhaltsame Anekdoten um Forscherehrgeiz und Nobelpreis-Gerangel und das ewige Streben nach Ruhm und Geld. »Alle Bereiche des Lebendigen werden

## Offenbar haben wir die Demut vor der Natur verloren

mehr und mehr dem Effizienzprinzip und der Gewinnmaximierung unterworfen«, beklagt er im Hinblick auf die Patentierung von genveränderten Organismen und – gerade aktuell – Impfstoffen. Er erinnert an Jonas Salk, der eine Patentierung seines Polio-Vakzins in den 1950er Jahren ablehnte, weil er »den Menschen gehöre« und »die Sonne auch nicht patentierbar sei«. Dieses moralische Vorbild müsste »den heutigen Protagonisten der gesamten Biotech-Branche eigentlich die Schamesröte ins Gesicht treiben«, so Eckoldt.

Offenbar haben wir die Demut vor der Natur verloren. Dass sich Viren nicht austricksen lassen und unsere Eingriffe in die Umwelt immer neue Mutationen und somit Pandemien provozieren, wird nach der Lektüre verständlich. Ein beunruhigendes Szenario, mit dem wir uns auseinandersetzen müssen.

Karin Henke-Wendt ist Diplombiologin und arbeitet als Wissenschaftsjournalistin.

## PHYSIK VOM UNIVERSUM ZUM MULTIVERSUM

**Auch wenn die Theorie bestens überprüft ist, bereitet die Deutung der Quantenmechanik vielen Physikern Probleme. In seinem neuen Buch präsentiert Sean Carroll seine Sichtweise.**

Die Quantenmechanik ist eine experimentell extrem gut getestete Theorie, und gleichzeitig ruft sie zumindest ein Stirnrunzeln bei jedem Studierenden hervor. Zwar sind ihre mathematischen Rezepte etwas anspruchsvoller, aber das allein ist noch kein Grund zur Skepsis. Schwieriger ist hingegen die Interpretation dieser Konzepte. Der verbreitetsten Deutung zufolge besteht die Welt aus Wellenfunktionen, deren zeitliche Entwicklung deterministisch ist. Damit lässt sich zwar nicht direkt beschreiben, wie sich das Universum verändert, aber zumindest, wie sich die Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Ereignisse verhalten.

Wenn man sich Messungen in dieser Anschauung zuwendet, wird es allerdings rätselhaft: Die Wellenfunktion kollabiert demnach augenblicklich in einen Zustand, der dem Messergebnis entspricht. Doch das widerspricht dem Geist der Relativitätstheorie, da unter anderem sich eine anfangs unendlich ausgedehnte Wellenfunktion plötzlich auf einen Punkt komprimiert. Diese »spukhafte Fernwirkung«, wie Albert Einstein das Phänomen bezeichnete, wird insbesondere am berühmten Beispiel zweier verschränkter Quantenteilchen deutlich: Man präpariert sie so, dass sie gemeinsam den Drehimpuls null besitzen, und distanziert sie anschließend voneinander. Misst man dann den Spin eines Teilchens, kollabiert sofort auch die Wellenfunktion des anderen womöglich weit entfernten Partikels. Diese Eigenschaft betrachten viele Physiker als unschön.

Gibt es Auswege? Ja. Hugh Everett (1930–1982) entwickelte eine berühmte alternative Interpretation der Quantenmechanik, die Viele-Welten-Theorie.

Demnach kollabiert nicht die Wellenfunktion, sondern das Universum spaltet sich gemäß den Wahrscheinlichkeiten auf, so dass es nach dem Messvorgang (im einfachsten Fall) zwei unabhängige Kopien davon gibt. Wenn man an die Zahl der existierenden Teilchen denkt und wie viele Wechselwirkungen stattfinden, die jeweils zu zahlreichen verschiedenen Ausgängen führen können, erhält man eine Schwindel erregende Menge an Multiversen. Die Viele-Welten-Theorie ist also keine bequeme Alternative.

Das veranschaulicht, wie hart die Nuss ist, die es bei der Interpretation der Quantenmechanik zu knacken gilt. Der kalifornische Physiker Sean Carroll ist ein Verfechter der Viele-Welten-Deutung und begründet seine Haltung mit seinem neuen Buch »Was ist die Welt und wenn ja, wie viele?«.



Der 400 Seiten lange Text ist in drei Teile gegliedert. Der erste beschreibt die Quantentheorie und die zuvor erwähnte Lehrbuch-Interpretation, die so genannte Kopenhagener Deutung. Im zweiten Abschnitt stellt Carroll die Viele-Welten-Variante vor und diskutiert sie im Vergleich zur traditionellen Ansicht. Dem Autor zufolge ist die Viele-Welten-Theorie die konsequenteste Auslegung, sie nimmt demnach die Gesetze der Quantenmechanik vollkommen ernst. Die Diskussion möglicher Einwände hat er in ein fiktives Gespräch zwischen der jungen Quantenphysikerin Alice und ihrem Vater gepackt. Die Tochter geht klar als Siegerin aus dem Dialog hervor.

Ginge es Carroll bloß um die Interpretation der Quantenmechanik,

würde er wohl kaum als Physiker, sondern eher als Wissenschaftsphilosoph arbeiten – und sein Buch könnte nach dem zweiten Teil enden. Aber der Autor geht weiter und beschreibt im letzten Abschnitt seine eigentliche Forschung. Wie wäre es, wenn nicht Raum und Zeit die Bühne sind, auf der sich das Drama der Quantenphysik entfaltet, sondern der abstrakte Raum der Wellenfunktionen die grundlegende Entität der Welt wäre? Raum und Zeit wären demnach Phänomene, die erst aus den Eigenschaften und Wechselwirkungen der Quantenwelt entstehen. Mit so einer Weltsicht erscheinen verschiedene Interpretationen der Quantentheorie lediglich als umständliche Versuche, Raum und Zeit als fundamental anzusehen.

Carrolls Buch ist anspruchsvoll und richtet sich nicht an Laien, die einmal etwas über die Quantenmechanik lesen möchten. Wer hingegen Physik studiert hat und die diskutierten Theorien kennt, wird vor allem am dritten Teil seine Freude haben. Sollte man sich etwa fragen, warum jemand zu einer bestimmten Interpretation neigen, obwohl es für experimentelle Tests sowieso keinen Unterschied macht, findet die Leserschaft eine Antwort im letzten Abschnitt. Denn sieht man die Quantenwelt als fundamental an, lohnt es sich, die offenen Baustellen der Quantenphysik nochmals zu inspizieren: etwa Schwarze Löcher und ihre Ereignishorizonte oder den Urknall.

Leider ist das Buch etwas holprig übersetzt. Viele lange und verschachtelte Sätze erschweren es der Leserschaft, den Gedanken des Autors zu folgen. Und auch der deutsche Titel und Untertitel erscheinen weniger überzeugend als die englische Originalversion: »Something Deeply Hidden – Quantum Worlds and the Emergence of Spacetime« (Etwas tief Verborgenes – Quantenwelten und wie die Raumzeit entsteht) ist viel präziser und spannender formuliert.

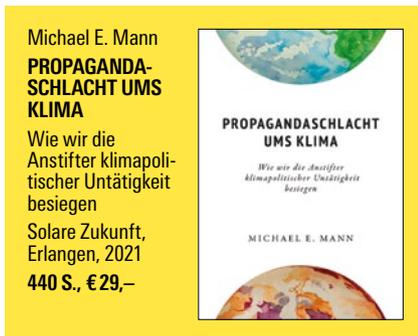
Stefan Gillissen ist promovierter Physiker und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik.

## KLIMAWANDEL NACH DEM LEUGNEN

**Angriffe und Angreifer erkennen  
und das Klima retten**

Der Klimaforscher Michael Mann entlarvt die Methoden, mit denen Klimaschutzverzögerer heute ihre monetären Interessen zu Lasten des Planeten wahren.

»Krieg«, »mächtiges Arsenal«, »gewaltige Waffen«, »Front« und der »Kampf um den Planeten« – im jüngsten Buch von Michael Mann, einem der renommiertesten und engagiertesten Klimaforschenden weltweit, geht es martialisch zu. »Propagandaschlacht ums Klima« heißt das umfangreiche Sachbuch, im Englischen sogar »The New Climate War«. Das wirkt auf den ersten Blick übertrieben, doch nach der Lektüre fallen die Vorbehalte gegen diese Wortwahl deutlich schwächer aus. Der deutsche wie der englische Titel beschreiben zusammen genau, worum es im Buch geht.



Oder mit den Worten des US-Autors: »Die Klimaschutzverhinderer wurden gezwungen, sich von der ›harten‹ Klimaleugnung auf eine ›weiche‹ Leugnung zurückzuziehen: Herunterspielen, Ablenken, Spalten, Verzögern und Verzweiflung schüren.« Wollte man dagegen antreten, müsste man die Strategien entlarven und überwinden.

Als Urheber der berühmten »Hockeystick-Kurve«, die den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre beschreibt, ist Mann seit mehr als zwei Jahrzehnten eines der Hauptziele jener Kräfte, die sich gegen angemessene

Reaktionen auf die Klimakrise wehren. So kann der Autor zahlreiche Beispiele aus eigener Erfahrung beisteuern. Dabei beschreibt er die Methoden, die durch fossile Brennstoffe reich gewordene Menschen gegen Personen aus Wissenschaft, Politik und Aktivismus anwenden, wenn diese naturwissenschaftliche Fakten betonen und konsequentes Handeln fordern. Man könnte nun befürchten, die »Opferrolle« des Autors habe zu einem unsachlichen oder polemischen Werk geführt. Doch Mann führt weit mehr als die eigenen Erfahrungen aus, und fast immer sind seine Aussagen durch öffentlich zugängliche Quellen belegt.

Wer »Die Machiavellis der Wissenschaft« von Erik M. Conway und Naomi Oreskes gelesen hat, wird im ersten Teil des Buchs so manches wiedererkennen: Mann zeigt zunächst die Parallelen auf, wie die teils gleichen Personen und Organisationen, die früher die Gefahren des Rauchens, des sauren Regens, des Ozonlochs und manches mehr heruntergespielt haben, heute versuchen, den Klimaschutz zu sabotieren.

Dabei präsentiert der Autor meist knapp und gut belegt die Fakten zu einem klimawissenschaftlichen Sachverhalt und entkräftet falsche Argumente und Behauptungen. Viel wichtiger aber: Danach setzt er sich mit den Methoden der jeweiligen Angriffe und den dahintersteckenden Personen auseinander. Das ist nicht nur spannend wie ein Krimi, sondern man lernt bei der Lektüre Schritt für Schritt, wie Manipulationen der öffentlichen Debatte die Wahrnehmung der Klimakrise verfälschen und dringende Maßnahmen verzögern. Darin liegt die erste große Leistung Manns: Wem diese Muster bewusst sind, ist immun dagegen. Die zweite große Leistung, bei welcher der Autor oft die Arbeit investigativer Journalistinnen und Journalisten zitiert, ist das Bloßstellen jener Kräfte, die im Hintergrund die Propagandaangriffe finanzieren und koordinieren.

So zeigt Mann, wie man konservative Kräfte einerseits durch Verharmlosung davon abhält, aktiv zu werden, und gleichzeitig Klimaschützer

## BP propagierte das Konzept des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks

durch Übertreibung der Folgen der Klimakrise dazu bringen möchte, zu resignieren und inaktiv zu werden. An anderer Stelle verspricht man Scheinlösungen wie Wasserstoff, CO<sub>2</sub>-Speicherung (CCS) oder Geoengineering, wodurch man vor allem Liberale dazu verleitet, vorhandene Lösungen wie die erneuerbaren Energien zu ignorieren und auf Innovationen und scheinbare Marktmechanismen zu setzen, die viel zu spät greifen würden: »Wenn wir eine Erwärmung jenseits der kritischen Grenzen von 1,5 Grad Celsius abwenden wollen, haben wir nur noch ein Jahrzehnt Zeit, um die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen um den Faktor zwei zu reduzieren. Das ist eine sehr kurze Brücke«, schreibt Mann unter Anspielung auf Propagandisten von Brückentechnologien.

Ganz besonders betont der Autor die Motive der Ablenkung und der Teilung: Er belegt, wie die Feinde des Klimaschutzes Forderungen nach individuellen Verhaltensänderungen unterstützen. »Der Ölkonzern BP propagierte Mitte der 2000er-Jahre das Konzept eines ›persönlichen CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks‹.« Denn solange nur Minderheiten Konsequenzen umsetzen, können die fossilen Industrien ihr Geschäft rentabel fortführen – anders, als wenn starke politische Mehrheiten Änderungen am System fordern würden: »Die Wahlfreiheit von Verbrauchern führt nicht zum Bau von Hochgeschwindigkeitszügen, zur Finanzierung von Forschung und Entwicklung im Bereich Erneuerbarer Energien oder zur Festsetzung einer CO<sub>2</sub>-Steuer.« Obendrein entstehe so Streit in der Klimaschutzgemeinschaft darüber, welcher Weg richtig sei, und könnten Vordenkende diskreditiert werden, weil sie nicht in allen Aspekten konsequent handeln.

Milliardäre, die mit Rufmordkampagnen einflussreiche Forschende und

progressive Politikerinnen und Politiker angreifen, Troll- und Botarmeen, die Kinder und Jugendliche schikanieren und bedrohen, gekaufte Lobbyisten in Politik und Wissenschaft, millionenschwere Kampagnen, um Falschinformationen zu verbreiten und die Gesellschaft zu spalten – teils mit Hilfe des eigenen Medienimperiums: Die erschreckende Faktensammlung in »Propagandaschlacht ums Klima« lässt keinen Zweifel daran, dass wir uns in einem »neuen Kampf ums Klima« befinden, wie es im Original heißt. Vielleicht sind der große Umfang des Buchs und die Vielzahl an Beispielen erforderlich, um zu begreifen, dass eine kleine, schwerreiche Gruppe einen Krieg gegen den Rest der Menschheit führt. Manns jüngstes Werk kann dabei helfen, die Angriffe abzuwehren und optimistisch zu bleiben.

Björn Lohmann ist Wissenschaftsjournalist mit Schwerpunkten in den Lebens- und Umweltwissenschaften.

## MATHEMATIK GEBALLTES WISSEN

**Kit Yates präsentiert eine ein-drucksvolle Sammlung von Beispielen, wo Mathematik in unserem Alltag eine Rolle spielt.**

► Das Buch des jungen britischen Mathematikers Kit Yates hat es innerhalb weniger Wochen in die Bestsellerlisten geschafft: zunächst 2019 in Großbritannien und in den USA (»The Maths of Life and Death«) und nun auch bei uns. Inzwischen wurde es in 20 Sprachen übersetzt. Yates ist nicht der Erste, der sich bemüht, die breite Öffentlichkeit über die bedeutende Rolle der Mathematik in vielen Lebensbereichen aufzuklären. »Warum Mathematik (fast) alles ist« stellt einen weiteren und in großen Teilen gelungenen Beitrag dar, ist aber keine leichte Kost.

Im Vorwort kündigt der Autor an, das vorliegende Buch sei nicht für

Mathematiker geschrieben, man finde darin keine einzige Formel. Während Erstes zutrifft, kann man die zweite Aussage nur im eigentlichen Wortsinn bestätigen: Denn selbst Yates kommt nicht ohne Rechnungen aus, die er gemäß einem formelhaften Schema durchführt. Irritierend erscheint es hingegen, dass der vom Verlag gewählte Einband ausgerechnet die aus dem Mathematikunterricht bekannten Formeln des Satzes von Pythagoras und zur Lösung einer quadratischen Gleichung zeigt (die im Buch überhaupt keine Rolle spielen).

Yates ist Dozent am Department of Mathematical Sciences und am Centre for Mathematical Biology der University of Bath. Die besondere Beziehung des Autors zur Biologie wird bei der Auswahl der behandelten Themen durchgängig sichtbar. Den Anfang macht ein Kapitel über exponentielles Wachstum: Zahlenbeispiele zur Vermehrung von Milchsäurebakterien, Finanzbetrügereien



# Spektrum.tv

## Dokumentationen und Reportagen zu den Tophemen der Wissenschaft

Für nur 4,99 € pro Monat  
ohne Verpflichtung – ohne Werbung

[tv.Spektrum.de/DE/](http://tv.Spektrum.de/DE/)



UNISPLASH / VPS (img) ian.com/photos/2414016\_017\_017  
UNISPLASH / VPS (img) ian.com/photos/2414016\_017\_017  
CONFOSING: SPEKTRUM DEIN WISSENSCHAFT

# REZENSIONEN

durch Schneeballsysteme, die Entwicklung eines menschlichen Embryos während der Schwangerschaft, Funktionsweise der Atombombe, das Unglück von Tschernobyl oder die Altersbestimmung durch Radiometrie verdeutlichen die typischen Eigenschaften von Vorgängen dieser Art. Am Beispiel der Bevölkerungsentwicklung geht er schließlich auf das logistische Wachstum ein.

Das zweite Kapitel widmet sich dem Thema »Sensitivität und Spezifität« von Gesundheitstests und der Tatsache, dass falsch positive und falsch negative Testergebnisse praktisch unvermeidbar sind. Anhand zahlreicher Einzelfälle schildert Yates, welche tragischen Folgen Fehlschlüsse haben können, und er rät zu Gelassenheit, wenn ein medizinischer Test



positiv ausfällt. Die zur Verdeutlichung erforderlichen Rechnungen begründet er durch Baumdiagramme und deren Umkehrung – also mit Methoden, wie sie heute im Mathematikunterricht der Abschlussklassen auftauchen.

Auch das dritte Kapitel, das sich insbesondere mit spektakulären Fehlurteilen der Justiz beschäftigt (wie Sally Clark oder Amanda Knox), enthält nicht gerade triviale Überlegungen zu Wahrscheinlichkeiten. Darunter findet sich der Ökologische Fehlschluss, bei dem man Merkmale einer Gruppe auf Individuen abbildet, oder das Simpson-Paradoxon, das von der Kombination von Ergebnissen verschiedener Gruppen handelt. Ähnliches gilt für die im nachfolgenden Kapitel erläuterten Beispiele anderer statistischer Fehlschlüsse und

stochastischer Paradoxien wie das bekannte Geburtstagsproblem.

Das fünfte Kapitel enthält eine Sammlung von Pannen, die durch Fehlberechnungen entstanden, etwa weil man unterschiedliche Einheitsysteme nutzte (wie bei der Mars-Orbiter-Katastrophe 1999) oder nicht genau genug rechnete. Letzteres war im ersten Golfkrieg fatal: Die Patriot-Raketen verfehlten die ankommenden feindlichen Flugkörper, weil man die Zeit mit einer Beschränkung auf 24 Stellen in Einheiten des Dualsystems berechnete. Die Hälfte der amerikanischen Toten sind auf diesen Fehler zurückzuführen.

Dass Optimierungsalgorithmen in unserer heutigen Welt eine große Rolle spielen, verdeutlicht Yates im sechsten Kapitel. Vom optimalen Sortieren von Daten über das Problem des Handlungsreisenden hin zum Rucksackproblem (optimales Packen) gelangt der Autor schließlich zur Grundsatzfrage, ob sich die Problemklassen vom so genannten Typ P beziehungsweise NP tatsächlich unterscheiden. Abschließend geht er auf automatisierte Preisanpassungen und die automatisierte Auswahl von Nachrichtentrends ein.

Offensichtlich hat Yates aus aktuellem Anlass für die deutsche Fassung noch kurzfristig einige Anmerkungen zu Covid-19 eingefügt, die im englischen Original nicht enthalten sind, da zum damaligen Erscheinungsdatum (September 2019) niemand etwas von der bevorstehenden Pandemie ahnte. Wer die ersten Abschnitte dazu durchliest, findet das gesamte Vokabular wieder, das in den letzten Wochen Nachrichten und Talkshows dominiert hat: Patient null, Reproduktionsrate, Herdenimmunität, Impfquote, Quarantäne, Inzidenz und so weiter.

Die Begriffe erläutert der Autor an zahlreichen Krankheiten, die sich in vergangenen Jahrhunderten (etwa Pest, Pocken, Malaria, Tuberkulose) oder den letzten Jahrzehnten (wie Masern, Röteln, HIV, HPV, Sars) ausgebreitet haben. Yates versucht dabei, an den vorgestellten Beispielen epidemische Entwicklungen und die

Wirkungen der jeweils gewählten Gegenmaßnahmen zu veranschaulichen. Anders als die vorigen Kapitel besitzt der letzte Abschnitt einen geringen Unterhaltungswert, was der Natur des Themas geschuldet ist.

Wenn man bedenkt, welche Themen allein in dieser Rezension aufgelistet sind, kommt man nicht umhin, den Klappentext des Buchs als irreführend oder zumindest als verharmlosend anzusehen: Dort werden nur »banale« Fragen wie die Auswahl der kürzesten Schlange vor einer Supermarktkasse angesprochen.

Wer an der eindrucksvollen Sammlung von Beispielen interessiert ist, sollte sich für ein vollständiges Verständnis genügend Zeit nehmen und bereit sein, die Erläuterungen zu den dahinterstehenden komplexen Sachverhalten durchzuarbeiten.

Heinz Klaus Strick ([www.mathematik-istschoen.de](http://www.mathematik-istschoen.de)) ist Autor des »Mathematischen Monatskalenders«.

## ASTROPHYSIK DIE REVOLUTION DER SCHWARZEN LINIEN

**Jürgen Teichmann erzählt in seinem Buch, wie die Fraunhoferlinien und mit ihnen die Spektroskopie eine neue Ära in der Astronomie einläuteten.**

► Als der junge bayerische Optiker Joseph von Fraunhofer um das Jahr 1814 dunkle Linien im Lichtspektrum der Sonne und von Fixsternen entdeckte, brachte er in der Himmelsbeobachtung einen gewaltigen Stein ins Rollen. Doch zunächst maß man diesem Phänomen nichts Besonderes bei, sie schienen nebensächlich für die Astronomie. Vielleicht handelte es sich bloß um einen verschmutzenden Effekt, den die Erdatmosphäre beim Durchgang des Himmelslichts erzeugt, oder sie wurden durch einen Fehler in den Linsen der Teleskope hervorgerufen. Abgesehen davon würden die Linien bestenfalls in den Bereich der Physik fallen, die damals nichts mit Astronomie zu tun hatte.



Die Wissenschaftler täuschten sich. Es dauerte noch 40 Jahre, bis man die Bedeutung der Absorptionslinien verstand: Sie geben Auskunft über die chemische Zusammensetzung von Himmelskörpern. Ihre Entdeckung läutete eine Revolution in der Astronomie ein.

Ohne diese Linien wüssten wir heute nichts über die Gashüllen von Sternen – und kaum etwas über das Universum, schreibt Jürgen Teichmann in seinem Buch »Der geheime Code der Sterne«. Der Autor nimmt Fraunhofers bahnbrechende Entdeckung zum Anlass, die Geschichte der Spektroskopie zu erzählen und ihre Auswirkungen auf die Astronomie des 19. Jahrhunderts bis heute zu erklären. Teichmann ist Professor für die Geschichte der Naturwissenschaften an der Ludwig-Maximilians-Universität München und eng verbunden mit dem Deutschen Museum. Er gilt als bedeutender Wissensvermittler für Physik und Astronomie.

Zunächst bettet der Autor Fraunhofers Entdeckung in das Spektrum des

**Das Buch ist eine reichhaltige Sammlung von Wissen rund um die Geschichte der Astronomie**

großen Erkenntnisgewinns zu Beginn des 19. Jahrhunderts ein: Messgeräte wurden präziser; man war den Geheimnissen des Lichts auf der Spur und verstand es immer besser, Lichtstrahlen durch optische Geräte zu kontrollieren.

Die Möglichkeiten, die Rätsel des Universums mit Hilfe von Licht zu lüften, wurden ausgereifter. Teichmann berichtet über William Herschels Entdeckung des Infrarotbereichs und dessen Bemühungen, Planetarische Nebel zu beobachten. Er erzählt von der Vermessung von Himmel und Erde und erläutert, wie man auf den Gedanken kam, dass es – ebenso wie am roten Ende des sichtbaren Lichtspektrums – auch Strahlung am »kalten« Ende geben müsste und wie Johann Wilhelm Ritter diese ultraviolette Strahlung schließlich 1801 nachwies.

Etwas überraschend erscheint das Kapitel über Natur und Kunstwerk. Hier versucht Teichmann, eine Brücke von Fraunhofers handkolorierten Spektren zur Kunst und Malerei des 19. Jahrhunderts zu schlagen. So war vor allem Johann Wolfgang von Goethe an der Farbenlehre interessiert: Schon kurz nach der Veröffentlichung Fraunhofers untersuchte der berühmte Dichter die farbenprächtigen Spektren mit den dunklen Linien. Er zeigte sich beeindruckt von den Arbeiten, aber natürlich auch reserviert, wie Teichmann beschreibt. Zur gleichen Zeit begannen viele Maler, sich mit der Wirkung von Licht, Raum und Naturgewalten auseinanderzusetzen. Man stellte genaue Beobachtungen an und entwickelte ein Gespür dafür, wie sich Licht in der Natur verhält, wie es etwa an den einzelnen Farbübergängen verschwimmt, wie es gebrochen und absorbiert wird. Man wollte Naturerscheinungen mit ihren Farben und Schattierungen so realitätsnah wie möglich darstellen.

Teichmanns Buch ist eine reichhaltige und anspruchsvolle Ansammlung von Wissen rund um die Geschichte der Astronomie und einer ihrer wichtigsten Grundlagen, der Spektroskopie. Man sollte sich für das Werk allerdings Zeit nehmen und muss

wahrscheinlich einige Kapitel mehrmals durchgehen. Denn manchmal fällt es schwer, alle Informationen korrekt in den zeitlichen Kontext einzuordnen, da der Autor mitunter in seinen Erzählungen springt. Hervorzuheben ist die ansprechende Gestaltung des Buchs, es enthält viele farbige Abbildungen. Zudem lockern eingebettete Zitate der Protagonisten die geballte Informationsflut angenehm auf.

Gegen Ende der Lektüre geht Teichmann kurz auf die moderne Astronomie und ihre Erkenntnisse ein. Auch ein Ausblick auf das, was noch kommt, ist zu finden. So entsteht in Chile das erste Teleskop der Europäischen Weltraumbehörde ESO mit einem Spiegeldurchmesser von 40 Metern. Damit möchten Forschende Planeten in fernen Sonnensystemen beobachten. Das Extremely Large Telescope wird mehr als 10000-mal lichtstärker sein als das beste Teleskop, das Fraunhofer im 19. Jahrhundert erbaute.

Thorsten Naeser ist Diplomgeograf und arbeitet am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in München.

## UMWELT WILDTIERE IN TÖDLICHER HITZEFALLE

**Steigende Temperaturen und Wetterextreme: Die Biologin Lisa Warnecke erklärt, wovon die Anpassungsfähigkeit und das Überleben verschiedener Arten abhängen.**

► Bei einem Massensterben im australischen Bundesstaat Queensland gingen im Januar 2014 mehr als 45000 Flughunde zu Grunde. Fast alle dieser großen Fledermäuse gehörten der gleichen Art an, so dass sich ihre Population an einem einzigen Tag halbierte. Was war passiert? Eine Hitzewelle hatte den Tieren zugesetzt, wie Lisa Warnecke in ihrem äußerst lesenswerten Buch »Tierisch heiß« berichtet. Die Biologin schlüsselt im Detail auf, wie Wildtiere auf die Klimakrise

# REZENSIONEN

reagieren, wer sich vielleicht anpassen kann oder wie die Flughunde scheiterten.

Welche Arten können mit den veränderten Umweltbedingungen umgehen? Mit den steigenden Temperaturen und mit Wetterextremen wie Hitzewellen, die künftig weltweit vermehrt und wohl verstärkt auftreten werden? Pauschale Antworten kann es auf diese Fragen nicht geben. Zu viele verschiedene Faktoren spielen hier eine Rolle, die sich teilweise ergänzen und verstärken. Die physiologischen Vorgänge im Körperinneren sind ebenso entscheidend wie die Lebensweise und das Verhalten der Tiere.

Zwei Tatsachen lassen sich jedoch schnell feststellen: Hitzewellen sind grundsätzlich schwerer zu verkraften als langsam steigende Temperaturen, und Generalisten mit etwas Flexibilität haben bessere Chancen als Spezialisten. Wer kann, verlegt seine Aktivitäten vom heißer werdenden Tag in die Nacht oder verlagert seinen Lebensraum in kühlere Gefilde. Ein leichtes



Unterfangen ist das aber nicht, sind hier doch immer schon Fressfeinde und Konkurrenten etabliert, während vielleicht auch die Nahrung umgestellt werden muss.

Noch weiß man zu wenig von diesen Zusammenhängen. »Tatsächlich hat sich die Forschung lange vor allem mit den Folgen langsamer, gradueller Temperaturveränderungen auf Ökosysteme beschäftigt«, schreibt Warnecke. »Wetterextreme wurden eher als Ausnahme mit geringem Langzeiteffekt behandelt.«

Die Autorin zeigt die Klimakrise in all ihren Auswirkungen als Bedrohung für die biologische Vielfalt, stellt jedoch ebenfalls heraus, dass sie ein Stressfaktor neben vielen anderen wie dem Verlust an Lebensraum, Umweltgiften und Krankheiten ist.

Für Baumbewohner kann insbesondere die exponierte Lage zur Falle werden. Anders als Tiere in Höhlen und unterirdischen Bauten können sie sich bei einer Hitzewelle nicht in ein erträglicheres Mikroklima flüchten. »Wenn Kühlungsmechanismen nicht ausreichen und die Körpertemperatur über eine Toleranzgrenze hinweg ansteigt, hat das tödliche Folgen«, so Warnecke. Fledermäuse, Possums, Koalas und andere Tiere fallen tot von den Bäumen.

Zwar blieb die Hälfte der Flughundpopulation beim Massensterben in Queensland erhalten, die überlebenden Tiere waren aber höchstwahrscheinlich stark dehydriert. Das gefährdet ihren Fortpflanzungserfolg und damit den gesamten Bestand. Auch wenige Tage dauernde Wetterextreme können daher zu einem großen Problem für den Artenschutz und für Ökosysteme werden: Flughunde sind unter anderem als Bestäuber von Pflanzen unersetzlich.

Bei extremer Hitze können die Mechanismen zur Regulierung der Körpertemperatur an ihre Grenzen stoßen, beim Schwitzen geht zu viel kostbares Wasser verloren. Das Überleben kann dann von Schattenplätzen und Wasserquellen abhängen, die durch die Klimakrise aber immer knapper werden.

Das Problem wird übrigens auch für Menschen dringender. Zum Beispiel fehlt es vielerorts an kühlenden Stadtparks und Trinkwasser, worunter insbesondere ältere, kranke und sehr junge Personen leiden, weil sie extreme Hitze grundsätzlich schlecht tolerieren.

Warnecke greift auf ihre eigene Arbeit als Wildtierbiologin sowie auf Projekte von Kolleginnen und Kollegen zurück, um den Lesern den aktuellen Forschungsstand – mit offenen Fragen – nahezubringen. Dafür spannt sie den Bogen von der Wüste bis zum

Meer, wo die Tiere an den hohen Temperaturen, der veränderten Wasserchemie und an Sauerstoffmangel leiden. Der Untertitel »Wie Koala, Elefant und Meise auf die Klimakrise reagieren« greift also deutlich zu kurz.

An diesem wichtigen Werk sind nur die Zwischentitel zu bemängeln, die aus unerfindlichen Gründen mitten im Wort zweigeteilt sind.

## »Wildtiere brauchen von uns Menschen unbedingt zwei Dinge: Raum und Zeit«

Lisa Warnecke

»IRRE PARABEL« etwa bezieht sich auf Schäden, die nicht gutzumachen sind. Das tut Warneckes Botschaft aber keinen Abbruch, dass wir die Überlebensmechanismen von Tieren und ihre komplexen Interaktionen im Ökosystem besser untersuchen müssen, um Vorhersagen für die Zukunft zu machen.

Noch eines ist der Autorin wichtig: »Wildtiere brauchen von uns zwei Dinge: Raum und Zeit«, so Warnecke. »Erstens müssen wir ihnen ausreichend Raum geben, sprich Ökosysteme intakt halten, renaturieren und vernetzen. Zweitens müssen wir Tieren durch schnelles Handeln in Klimafragen Zeit gewähren, damit ihre natürliche Anpassungsfähigkeit Schritt halten kann mit den Veränderungen der Umwelt.« Anders gesagt: Das Problem der hohen und extremen Temperaturen ist brandeilig.

Die Biologin Susanne Wedlich arbeitet als Wissenschaftsautorin in Münster und hat »Das Buch vom Schleim« geschrieben.