

Einstein steht für die Gewissheit, dass ein denkender Mensch, auf sich allein gestellt, tiefe kosmische Wahrheiten enthüllen kann.

TITELTHEMA: 100 JAHRE EINSTEINS RAUMZEIT

Der Glanz des Genies

Vor einem Jahrhundert veränderte ein einzelner Mann mit seinen Gedanken unsere Vorstellung vom Universum so stark, dass sein Erbe bis heute nachwirkt.

Von Brian Greene

Albert Einstein soll einmal geäußert haben, zwei Dinge seien unendlich: das Universum und die menschliche Dummheit. Bei dem Universum sei er sich aber nicht ganz sicher.

Wir lachen, wenn wir das hören. Oder zumindest lächeln wir. Aber es beleidigt uns nicht. Denn mit dem Namen »Einstein« verbinden wir das Bild eines warmherzigen, onkelhaften Weisen aus vergangenen Zeiten. Wir sehen den gutmütigen Wissenschaftler mit den wilden Haaren vor uns, dessen berühmte Porträts – auf einem Fahrrad, mit herausgestreckter Zunge oder mit durchdringendem Blick – sich in unser Kulturgedächtnis eingebrannt haben. Einstein personifiziert die Macht des reinen Verstands.

In der Physikergemeinde wurde er schlagartig im Jahr 1905 berühmt, das heute als sein Annus mirabilis gilt. In der spärlichen Freizeit, die ihm neben einer Sechs-Tage-Woche in einem Berner Patentbüro blieb, veröffentlichte Einstein gleich vier bahnbrechende Theorien. Im März beschrieb er die Teil-

AUF EINEN BLICK

DER AUSNAHMEPHYSIKER

- 1 Albert Einstein veröffentlichte im Jahr 1905 mehrere revolutionäre Arbeiten, darunter seine **spezielle Relativitätstheorie**.
- 2 Zehn Jahre später gelang es ihm, die **Schwerkraft** in sein Gedankengebäude zu integrieren. Damit veränderte er auch unser Verständnis von **Raum und Zeit** grundlegend.
- 3 Als sich seine Theorie als richtig erwies, wurde er auch außerhalb von Wissenschaftlerkreisen zum Star. Seine Ideen **prägen die Welt bis heute**.

chennatur des Lichts, auf die später die Quantenmechanik gründen sollte. Zwei Monate später gelangen ihm Vorhersagen, deren Überprüfung den Aufbau der Materie aus Atomen belegte. Im Juni erschien seine spezielle Relativitätstheorie, die einen unerwarteten Charakter von Raum und Zeit offenbarte: Abstände, Geschwindigkeiten und Zeitspannen hängen stets vom Beobachter ab. Und dazu krönte Einstein in einem Nachtrag im September desselben Jahres sein Theoriegebäude mit seiner Formel, die weltberühmt wurde: $E = mc^2$.

Normalerweise entwickelt sich die Wissenschaft schrittweise. Spärlich sind die einzelnen Beiträge dazwischen, die einen Umbruch bewirken. Doch in diesem Fall erschütterte ein Mann mit einem enormen Kreativitätsausbruch in nur einem Jahr gleich viermal das Fundament der Physik. Der Forschungsgemeinde war die Bedeutung dessen sofort klar. Doch der breiten Öffentlichkeit war Einstein noch kein Begriff.

In seiner speziellen Relativitätstheorie legte Einstein fest, dass sich nichts schneller als das Licht bewegen kann. Das war ein Angriff auf Newtons Gravitationstheorie, laut der schwere Körper andere Massen augenblicklich beeinflussen. Diesen Widerspruch versuchte Einstein aufzulösen, indem er sich sogleich aufmachte, die jahrhundertealten newtonschen Regeln umzuformulieren. Selbst seine treuesten Unterstützer hielten dieses Unterfangen für weltfremd und zum Scheitern verurteilt. So mahnte Max Planck: »Als alter Freund muss ich Ihnen davon abraten, weil Sie einerseits nicht durchkommen werden; und wenn Sie durchkommen, wird Ihnen niemand glauben.« Einstein ignorierte die Warnungen und versuchte es. Fast ein Jahrzehnt lang.

DIE SERIE IM ÜBERBLICK

100 JAHRE ALLGEMEINE RELATIVITÄTSTHEORIE

- | | | |
|--------|---|---------------------|
| Teil 1 | ▶ Der Glanz des Genies
<i>Brian Greene</i> | Oktober 2015 |
| | Einsteins Weg zur allgemeinen Relativitätstheorie
<i>Michel Janssen, Jürgen Renn</i> | |
| Teil 2 | ▶ Der Zufall im Kosmos
<i>George Musser</i> | November 2015 |
| Teil 3 | ▶ Gravitationswellenjäger auf heißer Fährte
<i>Felicitas Mokler</i> | Dezember 2015 |
| Teil 4 | ▶ Auf der Suche nach der Theorie von Allem
<i>Corey S. Powell</i> | Januar 2016 |
| Teil 5 | ▶ Die Vermessung Schwarzer Löcher
<i>Dimitrios Psaltis, Shepard S. Doeleman</i> | Februar 2016 |
| Teil 6 | ▶ Sind Zeitreisen möglich?
<i>Tim Folger</i>
Wo Einstein irrte
<i>Lawrence M. Krauss</i> | März 2016 |

1915 stellte er schließlich seine allgemeine Relativitätstheorie vor und interpretierte die Gravitation vollkommen neu: als Krümmung von Raum und Zeit. Statt dass die Erdmasse eine entglittene Teetasse greift und ihrem klirrenden Schicksal entgegenzieht, sagt die allgemeine Relativitätstheorie voraus, dass unser Planet seine Umgebung verbiegt und die Tasse auf einer Art vierdimensionaler Rutschbahn zum Fußboden gleitet (Infografik rechts). Gravitation, so behauptete Einstein, sei in Form von »Raumzeit« ein Teil der Geometrie des Universums.

Über Nacht zum Weltstar – mit revolutionärer Physik

Am 6. November 1919, vier Jahre nachdem Einstein die allgemeine Relativitätstheorie formuliert hatte, verbreiteten Zeitungen weltweit neueste astronomische Messungen, nach denen einige Sterne am Himmel an Positionen standen, die nach Newtons Gesetzen nicht zu erwarten waren, aber genau mit den Vorhersagen des aufstrebenden Physikers übereinstimmten. Dieser Triumph seiner Theorie machte Einstein über Nacht zu einem Idol. Er hatte Newton vom Thron gestoßen und unsere Spezies einen gewaltigen Schritt näher an die ewigen Wahrheiten der Natur geführt.

Dazu kam Einsteins Persönlichkeit. Er selbst scheute zwar das Rampenlicht, zog mit seiner rätselhaften intellektuellen Übermacht aber umso mehr die Aufmerksamkeit der Welt auf sich. Gern nutzte er seine Wirkung für geistreiche Bemerkungen wie »Ich bin militanter Pazifist«. Bei der Uraufführung von Charlie Chaplins Film »Lichter der Großstadt« soll der Komiker auf dem roten Teppich zum anwesenden Einstein gesagt haben: »Mir applaudiert man, weil mich alle Leute verstehen, und Ihnen, weil niemand Sie versteht.«

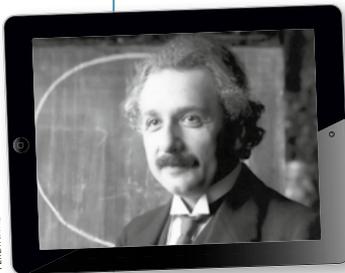
Einige Historiker gehen sogar so weit und betrachten Einstein als Treiber der Avantgarde des 20. Jahrhunderts, dessen revolutionäre Wissenschaft auch eine kulturelle Erneuerung erzwang. Doch ich habe noch keine Belege für den schwärmerischen Gedanken gefunden, dass es die Strahlkraft von seinen Erkenntnissen war, welche die staubigen Überreste einer überalterten Gesellschaftsordnung wegfegte. Oft ist es eher eine weit verbreitete Fehlinterpretation der Relativität – dass es keine objektive Wahrheit mehr gebe –, wegen der Einsteins Einfluss derart beschworen wird. Er selbst hatte jedenfalls einen eher konservativen Geschmack, zog Bach und

MEHR WISSEN BEI Spektrum.de

Unser Online-Dossier zum Thema »Einstein« finden Sie unter



www.spektrum.de/t/albert-einstein-und-die-relativitaetstheorie



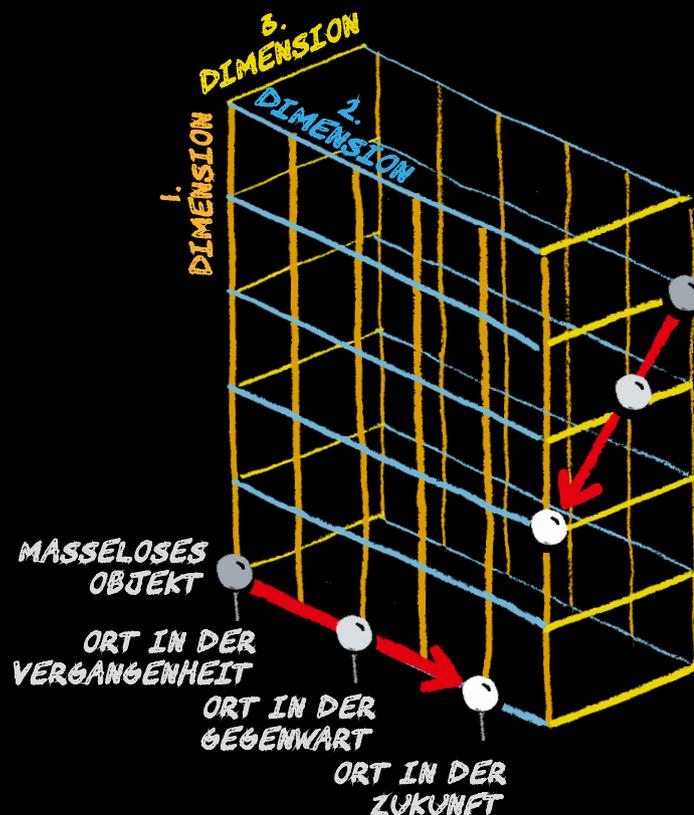
Seltsame Raumzeit

1915 definierte Albert Einsteins allgemeine Relativitätstheorie die Gravitation vollkommen neu. Demnach ergibt sich die Schwerkraft direkt aus den geometrischen Eigenschaften eines vierdimensionalen Universums. Das folgerte Einstein aus seiner speziellen Relativitätstheorie, die er zehn Jahre zuvor formuliert hatte. Diese vereint Raum und Zeit zu einer gemeinsamen Raumzeit (unten). In der allgemeinen Relativitätstheorie beschrieb Einstein, wie ein massereiches Objekt die Raumzeit verändert (rechte Seite): Es verbiegt sie und zwingt so andere Körper auf eine gekrümmte Bahn.

Raumzeit ohne Masse

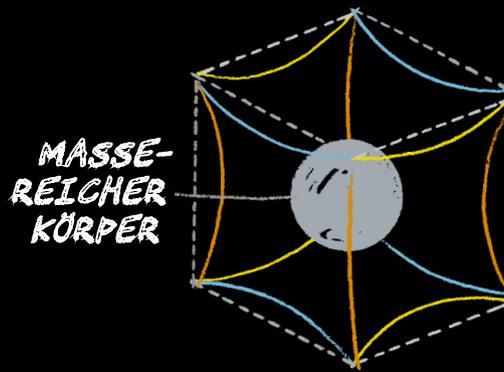
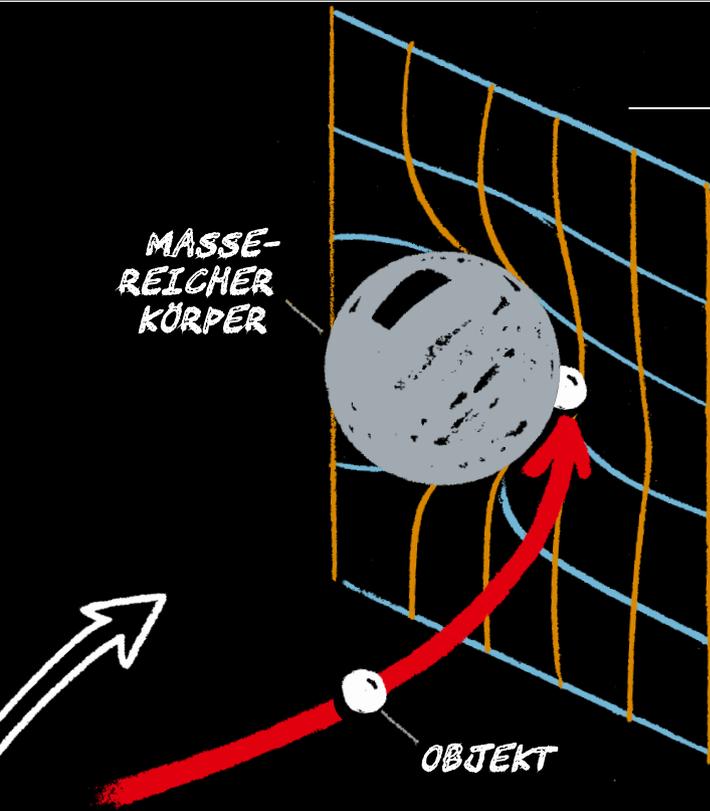
Unsere Welt besteht aus vier Dimensionen. Auf dieser zweidimensionalen Seite lassen sich die drei Raumrichtungen durch ein regelmäßiges Gitter darstellen und die vierte, zeitliche Dimension durch die Position eines Körpers zu verschiedenen Momenten. Ohne einen massereichen Gegenstand in dieser Umgebung ist der kürzeste Weg durch die Raumzeit einfach eine Gerade.

1, 2, 3 = WO 4 = WANN



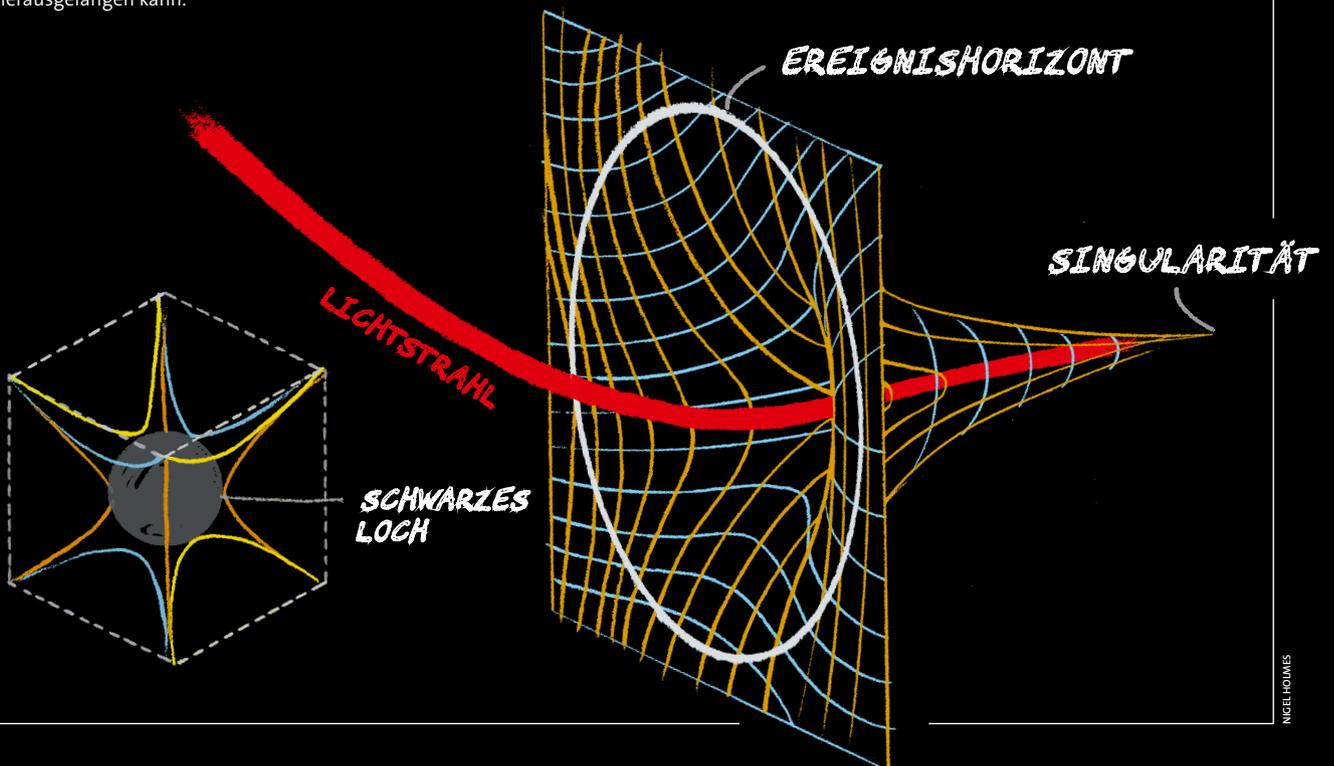
Raumzeit mit Masse

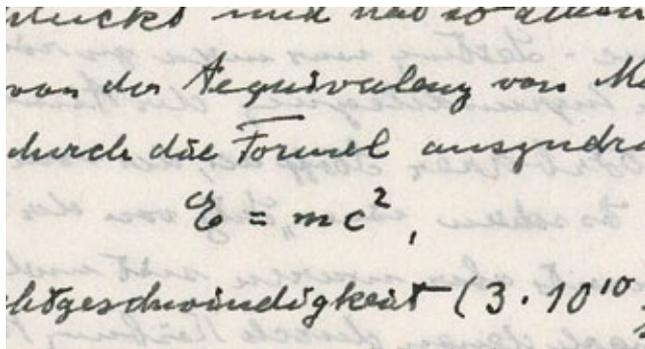
Jeder Körper verbiegt das Gitter der Raumzeit um sich herum – umso stärker, je mehr Masse er besitzt. Jede Bewegung führt ein Objekt dadurch auf einer gekrümmten Bahn näher an den Schwerpunkt heran. So ähnlich, wie es unmöglich ist, auf der Oberfläche einer dreidimensionalen Kugel eine gerade Linie zu beschreiten, zwingt eine verbogene Raumzeit alles in der Umgebung auf eine verzerrte vierdimensionale Bahn. Dieser Effekt führt zur Gravitationskraft, die wir als Anziehung zwischen zwei Massen wahrnehmen.



Raumzeit ins Extreme verzerrt

Eine der verblüffendsten Folgen der allgemeinen Relativitätstheorie sind Schwarze Löcher. Sie entstehen, wenn sich eine Masse auf kleinstem Raum konzentriert und eine so genannte Singularität bildet – einen Bereich, in dem die Raumzeit unendlich stark gekrümmt ist. Die Grenze zum übrigen Kosmos ist der »Ereignishorizont«, ein Bereich, in dem die Anziehung so groß ist, dass nichts, was sich von außen hineinbewegt, je wieder herausgelangen kann.





Einsteins weltberühmte Gleichung $E = mc^2$ in dessen Handschrift – hier aus einem Manuskript von 1946.

Mozart moderneren Komponisten vor und lehnte zu Gunsten seiner lieb gewonnenen traditionellen Einrichtung ab, als ihm jemand neue Möbel im Bauhausstil schenken wollte.

Der Siegeszug der Raumzeit

In der Wissenschaft erwies sich die allgemeine Relativitätstheorie hingegen ein Jahrhundert lang als fruchtbarer Boden. Während der 1920er Jahre wuchs daraus die moderne Kosmologie, die sich mit dem Ursprung und der Entwicklung des Universums beschäftigt. Der russische Mathematiker Alexander Friedmann und der belgische Physiker und Theologe Georges Lemaître zeigten mit Einsteins Gleichungen, dass sich der Weltraum ausdehnen muss. Einstein sträubte sich gegen diese Konsequenz und er führte zunächst sogar eine »kosmologische Konstante« in seine Formeln ein, um ein unveränderliches Universum sicherzustellen. Als Edwin Hubble später allerdings Galaxiebewegungen vermaß und zeigte, dass alle weit entfernten Objekte von uns wegrasen, sah Einstein seinen Irrtum ein.

Dass der Kosmos expandiert, legte nahe, dass er aus einem einzigen Punkt entstand – die Urknalltheorie keimte auf. In den folgenden Jahrzehnten wurde sie immer weiter entwickelt und hielt zahlreichen Überprüfungen stand. Eine von diesen Beobachtungen – 2011 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet – offenbarte, dass das All sich nicht nur ausdehnt, sondern dies sogar immer schneller tut. Die beste Erklärung dafür? Die Urknalltheorie, verfeinert mit der lange verworfenen kosmologischen Konstante. Die Lehre daraus? Wenn man nur genug wartet, erweisen sich selbst einige von Einsteins falschen Ideen als richtig.

Die erste Lösung von Einsteins Gleichungen gelang dem deutschen Astronomen Karl Schwarzschild im Schützengraben des Ersten Weltkriegs. An der russischen Front berechnete er Flugbahnen von Artilleriegeschossen – und in den Pausen dazwischen außerdem, wie sich die Raumzeit um einen kugelförmigen Körper wie unsere Sonne krümmen sollte. Ein Nebenprodukt seiner Überlegungen war allerdings eigenartig. Schrumpft man ein solches Objekt nur genügend, die Sonne etwa auf rund sechs Kilometer Durchmesser, dann verbiegt sich die Raumzeit darum so sehr, dass alles, was zu

nahekommt, unwiederbringlich gefangen wird – sogar das Licht selbst. Oder, um den heutigen Begriff für diese Körper zu verwenden: Schwarzschild entdeckte, dass Schwarze Löcher möglich sind.

Diese seltsamen mathematischen Konstrukte schienen ohne reale Bedeutung. Doch nicht die Erwartungen bestimmen, was richtig ist, sondern die Beobachtungen, und inzwischen gehen die Astronomen davon aus, dass massenweise Schwarze Löcher existieren. Seit den ersten einflussreichen Überlegungen von Stephen Hawking aus den 1970er Jahren werden Physiker immer zuversichtlicher, dass die extremen Bedingungen, die dort herrschen, Schwarze Löcher zu idealen Forschungsgegenständen machen, mit denen sich die allgemeine Relativitätstheorie weiterentwickeln und letztlich mit der Quantenmechanik vereinen lässt.

Das alles soll nur verdeutlichen, dass das 100-jährige Jubiläum der Theorie nicht bloß von historischem Interesse ist. Vielmehr ist dieses Weltbild heute untrennbar mit der aktuellen Forschung verflochten.

Wie gelang dem Genie ein so gewaltiger Beitrag von derart lang anhaltender Wirkung? Jenseits der Frage nach seinem übrigen kulturellen Einfluss steht Einstein zumindest für die Gewissheit, dass ein denkender Mensch, allein auf sich gestellt, kosmische Wahrheiten enthüllen kann. Gelangte er zu seinen Einsichten, weil sein Gehirn besonders aufgebaut war? Weil er ein Nonkonformist war? Wegen seiner Fähigkeit, sich hartnäckig und kompromisslos auf eine Sache zu konzentrieren? Vielleicht. Ja. Wahrscheinlich. Die Wahrheit ist aber, dass es niemand weiß. Man kann Geschichten darüber erzählen, warum jemand diese oder jene Idee hatte, doch im Grunde formen zu viele Einflüsse unsere Gedanken, als dass es je Klarheit darüber gäbe.

Mit Blick auf all seine Leistungen und sein lebendiges Erbe liegt eine weitere spekulative Frage nahe: Wird es einen nächsten Einstein geben? Sofern damit ein Ausnahmenschon gemeint ist, welcher der Wissenschaft einen kräftigen Stoß nach vorn versetzt, lautet die Antwort sicher: Ja. In dem halben Jahrhundert seit Einsteins Tod gab es solche Genies bereits tatsächlich. Doch meint man damit jemanden, den die Welt nicht wegen seiner Fähigkeiten als Sportler oder Entertainer verehrt, sondern als anregendes Beispiel für das, was der menschliche Geist erreichen kann, dann fällt diese Frage auf uns zurück – und darauf, was wir als Gesellschaft für wertvoll halten. ~

DER AUTOR



Brian Greene ist Professor für Theoretische Physik an der Columbia University in New York und arbeitet dort an der Theorie der Superstrings. Er ist zudem Autor mehrerer populärwissenschaftlicher Bestseller.

Dieser Artikel im Internet: www.spektrum.de/artikel/1362266

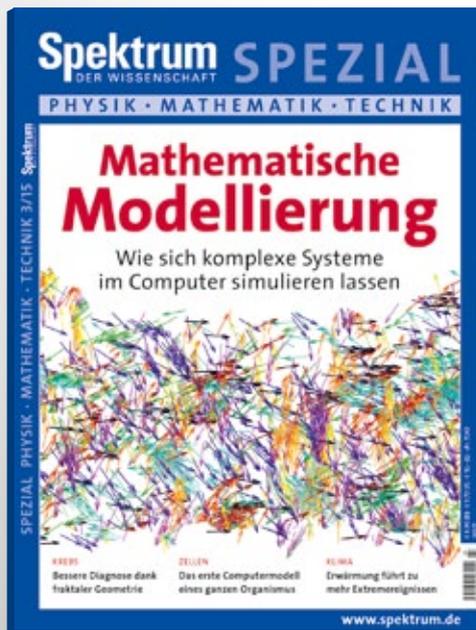
Unsere Neuerscheinungen



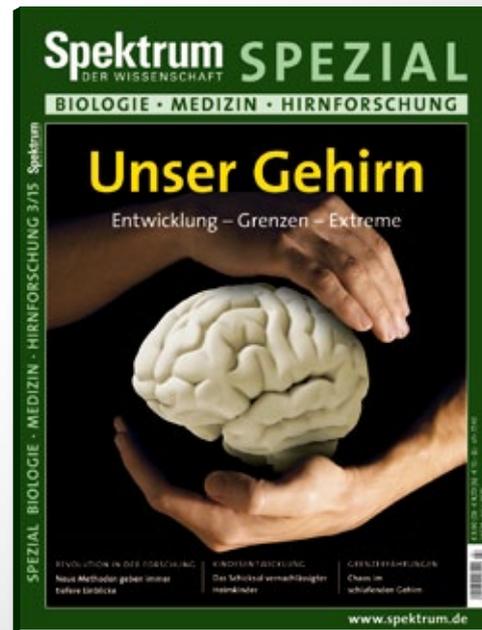
Neuroethik: Moral ist nicht angeboren • Hirndoping: Empathie auf Rezept? • Tierversuche: Leiden für die Wissenschaft • € 8,90



Jahrmärkte: Luxusgüter für die Reichen • Ketzer: Verbotene Wege zu Gott • Freiheit: Die Zünfte begehren auf • € 8,90



Strömungstechnik: Der Weg zum schwimmenden Nanoroboter • Molekulardynamik: Die Geheimnisse des Lebens simulieren • Krebs: Berechnung eines Tumors • € 8,90



Die Sprache des Gehirns • Im Kopf herrscht niemals Ruhe • Hirnstimulation: Unter Strom • Die genetische Kartierung des menschlichen Gehirns • € 8,90

Alle Hefte auch im Handel erhältlich!

So einfach erreichen Sie uns:

Telefon: 06221 9126-743

www.spektrum.de/neuerscheinungen

Fax: 06221 9126-751 | E-Mail: service@spektrum.de

Hier QR-Code per Smartphone scannen!

