



KEMP REMILLARD

NEUROPROTHESEN

Bewegender Geist

Dass Gelähmte eines Tages ihre künstlichen Gliedmaßen bloß mit der Kraft ihrer Gedanken steuern, ist keine Sciencefiction mehr. Schon in wenigen Jahren könnte eine Ganzkörperprothese die verlorene Beweglichkeit wiederherstellen.

Von Miguel A.L. Nicolelis

Milliarden Fernsehzuschauer werden vom Eröffnungsspiel der Fußballweltmeisterschaft 2014 in Brasilien hoffentlich nicht nur die Dribbelkünste der Starkicker im Gedächtnis behalten. Denn an diesem Tag möchten wir den Fußballfans – und der Welt – vorführen, wie weit die Steuerung von Robotergliedern durch elektrische Hirnsignale bereits gediehen ist.

Sofern mein Team von der Duke University in Durham (US-Bundesstaat North Carolina) bis dahin noch ein paar gewaltige technische Probleme überwindet, wird der feierliche Anstoß von einem gelähmten Teenager ausgeführt werden, der in einem Roboteranzug aufs Spielfeld spaziert. Der Anzug – von uns Exoskelett genannt – umschließt die Beine des Jungen. Seine Schritte werden von motorischen Signalen des Gehirns gesteuert, die von dort drahtlos zu einem Mini-computer auf dem Rücken unseres Patienten wandern. Der Rechner übersetzt die elektrischen Hirnsignale in digitale Bewegungsbefehle. Mit diesen stabilisiert das Exoskelett zunächst das Körpergewicht des Fußballers und veranlasst dann die Roboterbeine, koordiniert über den Rasen zu schreiten. Bei der Annäherung an den Ball stellt sich der Spieler vor, wie sein Fuß das Leder berührt, und 300 Millisekunden später weisen Hirnsignale den Roboterfuß des Exosketts an, einen kraftvollen Ankick zu vollziehen.

Die Demonstration der radikal neuen Technologie, an der Forscher in Europa und Brasilien mitwirken, soll einem Millionenpublikum vor Augen führen, dass die Gedankensteuerung von Maschinen nicht nur im Labor funktioniert, sondern tatsächlich gelähmten Patienten zu helfen vermag. Damit könnten in einigen Jahren nicht nur Unfallopfer und Kriegsversehrte ihre Beweglichkeit wiedergewinnen, sondern auch Patienten, die an der Nervenlähmung ALS, der Parkin-

sonkrankheit sowie an anderen Bewegungs- oder Sprachdefekten leiden.

Doch auch bei Gesunden würden Neuroprothesen oder Gehirn-Maschine-Schnittstellen deren sensorische und motorische Fähigkeiten in ungeahnter Weise steigern. In diesem futuristischen Szenario steuern willkürliche elektrische Hirnwellen – quasi das biologische Alphabet des menschlichen Denkens – kleine und große Roboter, lenken Luftschiffe von Weitem und ermöglichen dereinst vielleicht sogar die Direktübertragung von Gedanken und Gefühlen zwischen den Gehirnen vernetzter Menschen.

Gedankenmaschinen

Ein Prototyp des Körperanzugs entsteht gerade im Labor meines Mitarbeiters Gordon Cheng von der Technischen Universität München. Cheng ist Mitbegründer des Walk Again Project: einer internationalen gemeinnützigen Zu-

AUF EINEN BLICK

DIE GEHIRN-MASCHINE-SCHNITTSTELLE

1 **Gehirnwellen** können Mauszeiger, Roboterarme und demnächst sogar einen Ganzkörperanzug steuern. Mit einem solchen **Exoskelett** werden Querschnittsgelähmte und andere Patienten mit Bewegungsbeeinträchtigungen wieder gehen können.

2 Die Bewegungen der Körperprothese werden durch von der **Hirnrinde** abgeleitete Signale ausgelöst, die ein Computer in digitale Maschinenbefehle übersetzt.

3 Bei der **Fußballweltmeisterschaft 2014 in Brasilien** wollen Forscher ein gedankengesteuertes Exoskelett erstmals öffentlich präsentieren: Mit seiner Hilfe soll ein behinderter Teenager den Anstoß zum Eröffnungsspiel ausführen.

Der lange Weg zur neuronal gesteuerten Prothese

Ersatzgliedmaßen gibt es seit Jahrtausenden – als Hilfsmittel bei Kriegsverletzungen, Unfallfolgen oder Geburtsfehlern. Mit der Zeit wurde die Technik immer raffinierter, und heutzutage lassen sich Prototypen direkt durch elektrische Hirnsignale steuern.

1500–1000 v. Chr.

Die erste historische Quelle

Ein sakraler Hindutext aus jener Zeit erzählt von der Kriegerin Vishpala, der nach einem Kampf ein Bein amputiert wurde. Sie ließ es durch eine Prothese aus Eisen ersetzen und kehrte damit zu ihren Truppen zurück.



SCIENCE & SOCIETY PICTURE LIBRARY / JARON CHUBB

300 v. Chr.

Antikes Artefakt

Eine der frühesten Prothesen – hier eine Kopie – wurde 1858 in Süditalien ausgegraben. Sie wurde um 300 v. Chr. aus Kupfer und Holz gefertigt und diente



PUBLIC DOMAIN

anscheinend als Ersatz für einen amputierten Unterschenkel.

14. Jahrhundert

Feuerwaffen und Amputationen

Mit der Einführung des Schießpulvers auf Europas Schlachtfeldern nahmen Häufigkeit und Schwere von Kriegsverletzungen enorm zu. Im 16. Jahrhundert entwickelte Ambroise Paré, königlicher Chirurg mehrerer französischer Monarchen, verbesserte

sammenarbeit zwischen dem Duke University Center for Neuroengineering, der Technischen Universität München, der École polytechnique fédérale de Lausanne (Schweiz) und dem Instituto Internacional de Neurociências de Natal – Edmond e Lily Safra (Brasilien). In nächster Zeit werden weitere Forschungsinstitute und Universitäten hinzukommen.

Das Projekt fußt auf unserer fast 20-jährigen Pionierarbeit über Gehirn-Maschine-Schnittstellen. Schon in den 1960er Jahren versuchten Wissenschaftler erstmals, mit aus Tiergehirnen abgeleiteten Nervensignalen über einen Computer eine mechanische Vorrichtung in Bewegung zu setzen. Von 1990 an entwickelte mein Team an der Duke University eine neue Methode: Wir pflanzten hunderte Mikrodrähte – hauchdünne, flexible Sensoren – in die Gehirne von Ratten und Affen. Die Messfühler können winzige elektrische Signale, so genannte Aktionspotenziale, aufspüren, die von hunderten über den Frontal- und Scheitellappen der Großhirnrinde verteilten Nervenzellen ausgehen. Diese Zellen gehören zu einem weiträumigen Netzwerk, das willentliche Bewegungen erzeugt.

Ein entscheidender Durchbruch gelang 2011: Zwei unserer Affen lernten, über diese Schnittstelle einen computersimulierten Arm zu steuern, der Objekte in einer virtuellen Welt berührte und dabei ein künstliches taktiles Feedback-Signal direkt ins Gehirn der Tiere lieferte. Durch die Software konnten wir den Primaten beibringen, wie es sich anfühlt, einen Gegenstand mit »eigenen« virtuellen Fingern anzufassen.

Das Walk-Again-Konsortium hat mittlerweile damit begonnen, aus diesen Tierversuchen eine völlig neue Methode zur weit gehenden Rehabilitation von Querschnittsgelähmten zu entwickeln. Dabei wird es unterstützt durch ein internatio-

nales Team aus Robotikspezialisten, Neuro- und Computerwissenschaftlern, Neurochirurgen und Physiotherapeuten. Die allerersten Schritte wird unser zukünftiger Weltmeisterschaftseröffnungskicker virtuell tun, und zwar in einer Kammer, deren Wände, Fußboden und Decke als Projektionsflächen dienen. Ausgerüstet mit einer 3-D-Brille und einer speziellen Kopfbedeckung, die mittels Elektro- und Magnetenzephalografen nicht invasiv Hirnwellen registriert, taucht unser Fußballer in Gestalt eines Avatars – eines virtuellen Doppelgängers – in eine virtuelle räumliche Umgebung ein. Darin wird er lernen, immer kompliziertere Bewegungen seines Avatars nur mit Gedanken zu steuern. Am Ende wird er als elektronisches Double feinmotorische Fertigkeiten besitzen und beispielsweise über unebenes Gelände wandern oder ein virtuelles Marmeladenglas öffnen können.

Wie man Neurone anzapft

Doch ein mechanisches Exoskelett lässt sich noch viel schwieriger beherrschen als ein Softwareavatar. Um die Roboterglieder zu steuern, müssen Elektroden direkt ins Gehirn eingepflanzt werden. Außerdem gilt es, zahlreiche über die Hirnrinde verteilte Neurone gleichzeitig abzulesen. Die meisten Sensoren sollen in den Motorkortex implantiert werden. Vor allem in dieser Region des Frontallappens entsteht das Bewegungsprogramm, das normalerweise über das Rückenmark zu den Motoneuronen gelangt, die dann letztlich unsere Muskeltätigkeit steuern und koordinieren. Einige Neurowissenschaftler glauben zwar, das Zusammenspiel zwischen Geist und Bewegungsapparat lasse sich auch nicht invasiv per EEG erreichen, doch das muss erst die Praxis erweisen.

Methoden, stark blutende Gliedmaßen zu amputieren und durch bewegliche Metallprothesen zu ersetzen.

1861–1865

Amerikanischer Bürgerkrieg

Der Sezessionskrieg hatte viele Amputationen zur Folge. Ein prominentes Opfer war Brigadegeneral Stephen Joseph McGroarty, der einen Arm verlor. Durch staatliche Förderung und Narkosemittel, die längere Operationen ermöglichten, verbesserte sich die Prothesentechnik.

1963

Primitive Schnittstelle

José Manuel Rodríguez Delgado implantierte eine funkgesteuerte Elektrode im Nucleus caudatus – einer tief liegenden Hirnregion – eines Stiers und konnte das heranstürmende Tier per Knopfdruck zum völligen Stillstand bringen. Sein Apparat war ein Vorläufer heutiger Gehirn-Maschine-Schnittstellen.



CORBIS / MEDFORD HISTORICAL SOCIETY COLLECTION

1969

Bahnbrechende Experimente

An der University of Washington trainierte Eberhard Fetz Affen darauf, willkürlich das Feuern einzelner Neurone auszulösen, welches gleichzeitig mit einer Mikroelektrode aufgezeichnet wurde.

1980er Jahre

Deutung von Hirnströmen

Apostolos Georgopoulos entdeckte an der Johns Hopkins University in Baltimore (Maryland) bei Versuchen mit Rhesusaffen ein Erregungsmuster in den Motoneuronen, das immer dann auftrat, wenn die Versuchstiere ihren Arm in einer bestimmten Richtung drehen.

Anfang der 1990er Jahre

Simultane Aufzeichnung

John Chapin, jetzt am Downstate Medical Center der State University of New York in Brooklyn, und Miguel A.L. Nicolelis ent-

Mein Mitarbeiter Gary Lehew hat einen neuen Sensortyp ausgetüftelt: einen Würfel, der nach der Implantation Signale aus einem dreidimensionalen Hirnrindenbereich aufnimmt. Während herkömmliche Hirnsensoren aus flächig angeordneten Mikroelektroden bestehen, deren Spitzen die elektrischen Nervenimpulse aufzeichnen, streckt Lehew's Würfel zahlreiche empfindliche Messfühler nach oben, unten und seitwärts aus.

Die aktuelle Version unserer Messwürfel enthält bis zu 1000 Mikrodrähte. Da jeder davon mindestens vier bis sechs einzelne Neurone erfassen kann, zeichnet ein Würfel die Aktivität von 4000 bis 6000 Nervenzellen auf. Wenn es uns gelingt, mehrere Würfel im Frontal- und Scheitellappen zu implantieren, gewinnen wir gleichzeitig Daten von zehntausenden Nervenzellen. Das sollte nach unseren Modellschätzungen

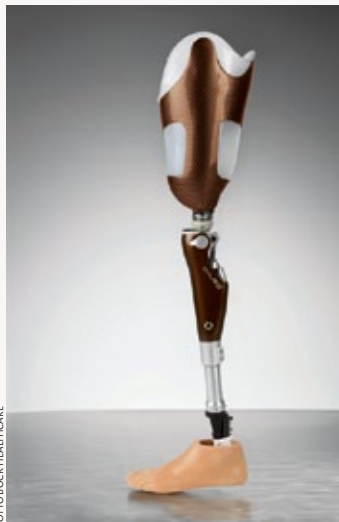
genügen, ein Exoskelett mit zwei Beinen zu steuern und unseren Patienten die selbstständige Beweglichkeit zurückzugeben.

Um die Datenflut dieser Sensoren zu bewältigen, konstruieren wir momentan eine neue Generation spezieller Neurochips. Sie werden zusammen mit den Mikrosensoren in den Schädel des Patienten implantiert und erzeugen die motorischen Befehle, die notwendig sind, um ein Ganzkörper-exoskelett zu steuern.

Natürlich müssen diese Signale dann noch aus dem Gehirn an die Prothesen gesendet werden. Kürzlich hat unser Teamkollege Tim Hanson einen drahtlosen Rekorder konstruiert, der im Schädel implantiert wird und dort aufgezeichnete Gehirnwellen an einen externen Empfänger überträgt. Die erste Version unserer Neurochips wird derzeit erfolgreich an Affen



wickelten ein Verfahren, die Aktivität von Dutzenden separaten Neuronen mit fest implantierter Elektroden simultan zu überwachen.



OTTO BOCK HEALTHCARE

1997

Bessere Bewegung

Mit der mikroprozessorgesteuerten C-Leg-Knieprothese konnte der Träger erstmals vorprogrammierte Bewegungsabläufe einschalten, um beispielsweise Rad zu fahren.

1999–2000

Gutes Feedback

Die Teams von Chapin und Nicolelis beschrieben erstmals eine Hirn-Maschine-Schnittstelle, bei der Ratten

die Bewegung durch ein optisches Feedback-Signal wahrnehmen konnten. Im folgenden Jahr publizierte die Gruppe um Nicolelis die erste Studie, in der ein Affe einen Roboterarm nur mit Hilfe seiner Hirntätigkeit steuerte.

2008–2011 »Blade Runner«

Nachdem Oscar Pistorius die Qualifikation für die Olympischen Sommerspiele 2008 verfehlt hatte, triumphierte er bei den Para-



AP PHOTO / ANDREW MEDICHINI

getestet. Jüngst hat erstmals eines der Tiere eine Gehirn-Maschine-Schnittstelle mittels drahtlos übertragener Hirnsignale rund um die Uhr betrieben. Im Juli 2012 haben wir schließlich bei der brasilianischen Regierung die Genehmigung beantragt, diese Technik auch bei Menschen einzusetzen.

Bei unserem künftigen Fußballspieler sollen die Daten des Rekorders drahtlos zu einem kleinen, in einem Rucksack mitgeführten Computer wandern. Mehrere Prozessoren übersetzen die motorischen Signale in digitale Befehle, welche über Servomotoren die beweglichen Teile an den Gelenken des Exoskeletts steuern und so die künstlichen Gliedmaßen richtig positionieren.

Kraft der Gedanken

Auf diese Weise kann der Träger des Exoskeletts ganz nach Wunsch schneller oder langsamer einen Fuß vor den anderen setzen, sich bücken oder eine Treppe hinaufsteigen. Einfache Haltungsanpassungen können die elektromechanischen Schaltkreise des Anzugs selbstständig – ohne neuronalen Input – durchführen. Das Exoskelett verhält sich zugleich flexibel und fest wie ein Raumanzug; es stützt seinen Träger und übernimmt die Rolle der Wirbelsäule. Wenn die vom Gehirn ausgehenden Steuersignale, wie wir hoffen, perfekt mit den elektronischen Reflexen der Servomotoren zusammenspielen, wird unsere Gehirn-Maschine-Schnittstelle den Fußballer buchstäblich durch pure Willenskraft über den Platz tragen.

Der Spieler soll sich nicht nur fortbewegen, sondern auch den Boden unter den Füßen fühlen. Durch Mikrosensoren, die dem Gehirn den Kraftaufwand einer Bewegung und die aktuelle Haltung des Anzugs melden, wird eine Form von Tast- und Gleichgewichtssinn simuliert. Der Spieler soll füh-

len, dass eine Zehe den Ball berührt. Nach unserer Erfahrung mit Hirn-Maschine-Schnittstellen wird das Gehirn die Roboterglieder rasch als echte Erweiterung des eigenen Körpers erleben. Wenn durch Training die Erfahrung darüber wächst, wie Bodenkontakt und Stellung des Roboterbeins zusammenhängen, dürften die Schritte bald flüssig und locker erfolgen.

Noch sind wir nicht so weit. Zunächst einmal müssen alle Phasen des Projekts in Tierversuchen getestet sowie von brasilianischen, US-amerikanischen und europäischen Behörden genehmigt werden. Doch trotz aller Unwägbarkeiten hat die kühne Idee in der brasilianischen Öffentlichkeit ein kaum da gewesenes Interesse an der Wissenschaft geweckt.

Ein ferngesteuertes Double

Der Ankick zur Fußball-WM – oder, falls uns die Zeit knapp wird, zwei Jahre später anlässlich der Paralympics 2016 in Rio de Janeiro – soll mehr sein als ein Kunststück ohne Nachfolger. Was diese Technik vielleicht einmal zu leisten vermag, lässt ein spektakuläres Tierexperiment erahnen, das wir 2007 zusammen mit Gordon Cheng durchführten. Zunächst trainierten wir an der Duke University Rhesusaffen, aufrecht in einem Laufrad zu gehen, während simultan die Aktivität von gut 200 Nervenzellen der Großhirnrinde aufgezeichnet wurde.

Unterdessen entwickelte Cheng, damals an den ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories in Kioto, ein extrem schnelles Internetprotokoll, mit dessen Hilfe wir diesen neuronalen Datenstrom direkt nach Kioto in die elektronische Steuereinheit des humanoiden Roboters CB1 schicken konnten. Im ersten Teil dieses weltumspannenden Experiments zeigten Cheng und mein Team an der Duke

lympics desselben Jahrs. 2011 erreichte er das 400-Meter-Halbfinale der Leichtathletik-Weltmeisterschaft in Daegu (Südkorea).

2011

Gedankenspiele

Das Team um Nicolelis an der Duke University demonstrierte, dass ein Affe mit seinen Gedanken die Bewegungen eines virtuellen Avatars – eines Softwaredoppelgängers – zu steuern vermag.



MIGUEL A.L. NICOLELIS

2012

Vom Gehirn zum Roboterarm

An der Brown University in Providence (Rhode Island) führte John Donoghue sein BrainGate Neural Interface System



BRAIN.GATE.ORG

vor. Die Testperson steuerte über ein Hirnimplantat eine Armprothese und führte damit ein Getränk zum Mund.

2014

Fußballweltmeisterschaft

Das Team um Nicolelis möchte ein Exoskelett konstruieren, mit dem ein behinderter Jugendlicher den Anstoß zur Fußball-WM in Brasilien ausführen kann.

University, dass derselbe Algorithmus, der ursprünglich Gedanken in Steuerbefehle für künstliche Arme übersetzen sollte, auch zwei mechanische Beine zum Laufen bringen kann. Sobald Idoya, einer unserer Affen, in Durham Schritte machte, setzte sich in Kioto der Roboter leicht verzögert ebenfalls in Gang. Anfangs benötigte CB1 noch eine Körperstütze, lief aber später ganz selbstständig.

Der zweite Teil des Experiments bescherte uns eine echte Überraschung. Selbst wenn die Affendame Idoya aufhörte, zu laufen, konnte sie weiterhin die Beine des Roboters in Kioto steuern, indem sie CB1 über eine Livevideoschaltung beobachtete und sich dessen nächste Schritte lediglich vorstellte. Idoya produzierte die Hirnmuster, die CB1 zum Laufen brachten, obwohl ihr eigener Körper dabei motorisch untätig blieb.

Über solche Schnittstellen könnte man Roboter in für Menschen absolut unzugänglichen Umgebungen agieren lassen. Bloße Gedanken würden beispielsweise ein mikrochirurgisches Instrument im Körperinnern steuern oder einen Roboter, der ein Leck in einem Atomreaktor reparieren soll. Auch könnten wir damit Werkzeuge bedienen, die viel fester oder zarter zugreifen als unsere Hände – und schneller: Idoyas Gedankenübertragung um die halbe Welt beanspruchte mit 20 Millisekunden weniger Zeit, als die Äffin zur Aktivierung ihres eigenen Beins braucht.

Das ist freilich noch Zukunftsmusik. Vorerst hoffen wir, dass der Weltfußballverband Fifa unseren Vorschlag aufnimmt, die Fußballweltmeisterschaft 2014 durch einen querschnittsgelähmten Jugendlichen eröffnen zu lassen. Zahlreiche bürokratische Hürden und wissenschaftliche Unwägbarkeiten sind zu überwinden, bevor unser Traum Wirklichkeit

werden kann: Vor drei Milliarden Zuschauern erhebt sich wie durch ein Wunder ein gelähmter Halbwüchsiger, schreitet über den Rasen, tritt den Ball und erzielt einen unvergesslichen Treffer für die Wissenschaft. ~

DER AUTOR



Miguel A.L. Nicolelis gilt als ein Wegbereiter der Neuroprothetik. Er ist Professor für Neurowissenschaften an der Duke School of Medicine sowie Kodirektor des Center for Neuroengineering an der Duke University in Durham (North Carolina).

QUELLEN

Nicolelis, M.: Beyond Boundaries: The New Neuroscience of Connecting Brains with Machines – and how it will Change our Lives. St. Martin's Griffin, New York 2012

Veliste, M. et al.: Critical Control of a Prosthetic Arm for Self-Feeding. In: Nature 453, S. 1098–1101, 2008

LITERATURTIPP

Nicolelis, M. A. L., Chapin, J.: Roboter steuern von Geistes Hand. In: Spektrum der Wissenschaft 1/2003, S. 74–82

WEBLINKS

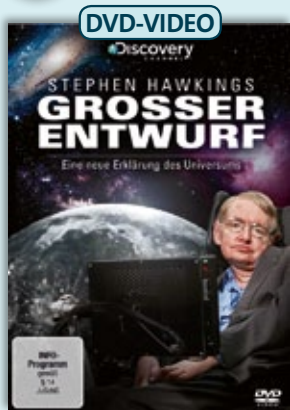
www.scientificamerican.com/sep2012/exoskeleton
Das Video zeigt einen Exoskelett-Prototyp im Tierversuch.

Diesen Artikel sowie weiterführende Informationen finden Sie im Internet: www.spektrum.de/artikel/1171188

Bücher und mehr



Unser besonderer Tipp:



STEPHEN HAWKINGS GROSSER ENTWURF

Eine neue Erklärung des Universums

2012, Laufzeit: circa 135 Minuten, Polyband

Bestell-Nr. 3761 € 17,99

In dieser Dokumentation blickt der populäre Astrophysiker über den Tellerrand der Wissenschaft hinaus und geht bedeutenden philosophischen Fragen auf den Grund: Beruht unsere Existenz auf einer höheren Macht? Was ist der Sinn des Lebens? Wie lauten die kosmischen Gesetze? Spektakuläre 3-D-Computeranimationen und faszinierende Bilder machen die Reise zu den größten Rätseln des Weltalls perfekt.

Technische Angaben: Sprachen: Deutsch und Englisch; Untertitel: keine; Ton: Dolby Digital 5.1; Bild: 16:9 (1,78:1); Medium: DVD 9; Region: 2 PAL; FSK-Freigabe: INFO-Programm.



WUNDER DES UNIVERSUMS

2012, Laufzeit ca. 200 Min., Verlag: Polyband

Bestell-Nr. 3656

€ 14,99 (D), € 14,99 (A)

Die Dokumentation nimmt Sie mit auf eine Entdeckungsreise quer über unseren Planeten, von den verbrannten Ebenen Afrikas hin zu den schneebedeckten kanadischen Rockies. Diese Reisen quer über unseren Planeten werden mit spektakulären Bildern aus dem Weltraum kombiniert. Mittels beeindruckender Bilder aus Teleskopen und computergenerierten HD-Aufnahmen liefert *Wunder des Universums* Eindrücke von gigantischen Supernovae, Gammastrahlenexplosionen und kürzlich entdeckten Galaxien und gibt Aufschluss über die entferntesten Bereiche des Universums. Sprachen: Deutsch und Englisch; INFO-Programm gem. §14 JuSchG.



Joachim Wambsganz

UNIVERSUM FÜR ALLE

70 spannende Fragen und kurzweilige Antworten

2012, 439 S. m. zahlr. Farbbabb., geb., Spektrum

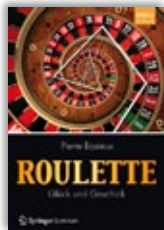
Bestell-Nr. 3646

€ 19,95 (D), € 20,60 (A)

Heidelberger Astronomen erklären Ihnen hier die Rätsel des Universums. Die Artikel basieren auf der Vortragsreihe *Uni(versum) für alle!* – Halbe Heidelberger Sternstunden: Von April bis Juli 2011 gab es dabei jeden Tag eine »Astronomische Mittagspause« in der Heidelberger Peterskirche mit einem 15-minütigen Kurzvortrag. In diesem Buch sind alle 70 Vorträge zu allen erdenklichen Themen der Astronomie für Sie zum Nachlesen zusammengestellt.

Alle Vorträge wurden gefilmt und stehen für Sie auf YouTube zur Verfügung. Sie können mit Ihrem Smartphone den jeweiligen QR-Code am Ende jedes Beitrags fotografieren und werden so direkt zu dem passenden Video geleitet oder Sie gehen direkt zum YouTube-Kanal von *Spektrum der Wissenschaft*:

www.spektrum.de/universumfueralle



Pierre Basieux

ROULETTE – GLÜCK UND GESCHICK

2012, 498 S. m. 143 SW-Abb., geb., Spektrum

Bestell-Nr. 3743

€ 69,95 (D), € 72,- (A)

Pierre Basieux, promovierter Mathematiker, hat die wissenschaftliche und praktische Erforschung dieses Spiels nicht nur einige Jahrzehnte als Hobby betrieben, sondern es auch revolutioniert. Über das bereits Bekannte hinaus enthält sein Buch vor allem a) entscheidende Ergänzungen, die bisher in Buchform absichtlich nicht preisgegeben wurden, b) neue praktische Aspekte, vor allem in den Bereichen Wurfweitenspiel und Kesselgucken, und c) wesentliche Vereinfachungen, die sich aus diesen neuen praktischen Erkenntnissen ergeben.



Peter M. Higgins

DAS KLEINE BUCH DER ZAHLEN

Vom Abzählen bis zur Kryptographie

2012, VIII, 354 S. m. 35 Abb., kart., Spektrum

Bestell-Nr. 3748

€ 19,95 (D), € 20,60 (A)

Peter Higgins verarbeitet Jahrhunderte des Fortschritts zu einer erbaulichen Erzählung, die das Geheimnisvolle der Zahlen hervorhebt und erklärt, wie die verschiedenen Arten von Zahlen aufgetaucht sind und weshalb sie nützlich sind. Das Buch enthält viele historische Anmerkungen und interessante Beispiele, und es behandelt einfache Zahlenrätsel und Zauberkünste ebenso wie Verbindungen zu Problemen des Alltags.



Wolfgang W. Osterhage

STUDIUM GENERALE PHYSIK

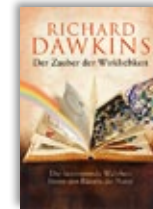
Ein Rundflug von der klassischen bis zur modernen Physik

2012, 254 S. m. 80 SW-Abb., 7 Tab., geb., Spektrum

Bestell-Nr. 3749

€ 24,95 (D), € 25,70 (A)

Dieses Buch nähert sich den großen Komplexen der Physik, ohne Spezialistenwissen vermitteln zu wollen. Dabei werden zunächst die Grundlagen der klassischen Physik erörtert: Mechanik, Elektrizitätslehre, Felder, Wellen und Wärmelehre. Auf dieser Basis werden dann die wesentlichen Erkenntnisse der Quantenphysik (Atomphysik, Kernphysik) einerseits und der Kosmologie (Relativitätstheorie) andererseits bis zum aktuellen Wissensstand entwickelt; ein Buch, geschrieben für alle, die in die Physik einsteigen oder sich einen Überblick verschaffen wollen – mit vielen weiterführenden Literaturhinweisen und Gedanken zum Weiterdenken.



Richard Dawkins

DER ZAUBER DER WIRKLICHKEIT

Die faszinierende Wahrheit hinter den Rätseln der Natur

2012, 270 S. m. zahlr. Abb., geb., Ullstein

Bestell-Nr. 3752

€ 26,99 (D), € 27,80 (A)

Seit jeher hat die Menschheit versucht, sich die rätselhafte Natur durch Mythen begreiflich zu machen. Auf den Herbst folgt der Winter, weil Hades, Persephone in sein Reich entführt hat und die blühende Natur mit ihr; in Wirklichkeit gibt es unterschiedliche Jahreszeiten, weil die Erdachse geneigt ist. Und die Welt entstand auch nicht, weil der indische Gott Vishnu seinem Diener Brahma ihre Erschaffung auftrug, sondern durch den Urknall. So wunderbar die Mythen sind, weitaus spannender ist die wissenschaftliche Betrachtung. Genau das tut Dawkins, indem er die Wahrheit hinter den Rätseln erklärt. Ein faszinierendes, üppig illustriertes Buch, das den Zauber der Wirklichkeit feiert.



Udo Gansloßer, Kate Kitchenham

FORSCHUNG TRIFFT HUND

Neue Erkenntnisse zu Sozialverhalten, geistigen Leistungen und Ökologie

2012, 240 S. m. 250 Farbbabb., geb., Kosmos

Bestell-Nr. 3751

€ 29,99 (D), € 30,90 (A)

Immer mehr Forschungsprojekte in Europa und den USA befassen sich mit dem Haushund, seiner Entwicklung, seinem Verhalten, seiner Intelligenz und seinen Emotionen. Dr. Udo Gansloßer und Kate Kitchenham berichten über die Forscher und ihre Arbeit, fassen die interessantesten Ergebnisse zusammen und geben damit Hundehaltern Anleitung für ein besseres Verständnis ihres Vierbeiners.

Besuchen Sie uns im Internet unter:
www.science-shop.de

Kurze Erläuterung zu den Angaben hinter den Preisen: (D) ist der Preis für Deutschland, (A) der Preis für Österreich

Bequem
bestellen:

→ direkt bei
www.science-shop.de

→ per E-Mail
info@science-shop.de

→ telefonisch
+49 6221 9126-841

→ per Fax
+49 711 7252-366

→ per Post
Postfach 810680 • 70523 Stuttgart

Für Bestellungen außerhalb Deutschlands und Österreichs berechnen wir € 3,50 Versandkosten. Alle Preise inkl. Umsatzsteuer. Preise unter Vorbehalt. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH



Werner Gruber, Heinz Oberhummer,
Martin Puntigam
**GEDANKENLESEN DURCH
SCHNECKENSTREICHELN**
Was wir von Tieren über Physik
lernen können
2012, 296 S., geb., Hanser
Bestell-Nr. 3648
€ 19,90 (D), € 20,50 (A)

In *Gedankenlesen durch Schneckenstreicheln* begeben sich die beiden Physiker Heinz Oberhummer und Werner Gruber sowie der preisgekrönte Satiriker Martin Puntigam auf eine Reise ins Tierreich. Dabei stoßen sie auf faszinierende wissenschaftliche Phänomene. Wissenschaft für alle: Spektakulär, lehrreich und unterhaltsam.



Josef Honerkamp
WAS KÖNNEN WIR WISSEN?
Mit Physik bis zur Grenze
verlässlicher Erkenntnis
2012, 367 S. 21 SW-Abb., geb.,
Spektrum Akademischer Verlag
Bestell-Nr. 3649
€ 24,95 (D), € 25,70 (A)

Was wissen Physiker über die Welt und wie sicher wissen sie es? – Den Autoren bewegten Begegnungen und Gespräche aus seinem Alltag dazu, über die faszinierendsten Fragen nachzudenken: Über Zeit, Materie, Quanten, Zufall und die Realität, bis zu kritischem Rationalismus, Emergenz, Vorwissen sowie die Physik aus der Gottesperspektive.



Alice Roberts (Hg.)
**DIE ANFÄNGE
DER MENSCHHEIT**
Vom aufrechten Gang bis zu
den frühen Hochkulturen
2012, 256 S. m. über 800 farbige
Abb. u. Ktn., geb., Dorling Kindersley
Bestell-Nr. 3718 € 29,95 (D), € 30,80 (A)

Dieses imposante Werk dokumentiert mit mehr als 800 Abbildungen die Geschichte der menschlichen Evolution. Dabei geht es nicht nur um die biologische, sondern auch um die kulturelle Entwicklung bis zu den frühen Hochkulturen. Mit beeindruckende Schädelrekonstruktionen von den niederländischen Präparatoren und Künstlern Adrie und Alfons Kennis.



Alain Lieury
**EIN GEDÄCHTNIS
WIE EIN ELEFANT?**
Tipps und Tricks gegen das Vergessen
2012, 320 S. m. 57 SW-Abb., kart., Spektrum
Bestell-Nr. 3727
€ 19,95 (D), € 20,60 (A)

Humorvoll geschrieben und bestückt mit zahlreichen Beispielen bietet dieses heitere und zugleich lehrreiche Werk einen Überblick über die unterschiedlichen Bereiche der Gedächtnisforschung und Methoden zur Steigerung der Gedächtnisleistung.



NEU
Josef Gaßner, Harald Lesch
**URKNALL, WELTALL UND
DAS LEBEN**
Vom Nichts bis heute Morgen
2012, 352 S. m. 123 Abb., geb.,
Komplett Media
Bestell-Nr. 3766
€ 29,95 (D), € 30,80 (A)

Den Urknall, das Weltall und das Leben verstehen? Vielleicht ist das zu hoch gegriffen – aber eines können Harald Lesch und Josef M. Gaßner versprechen: Sie erklären die Geheimnisse des Kosmos so verständlich wie nur möglich. Die beiden Gelehrten plaudern miteinander über Fragen wie: Woher wissen wir das alles? Wie konnte Alles aus dem Nichts entstehen? Was war vor dem Urknall? Warum gibt es Sterne und Galaxien? Wie ist das Leben entstanden? Was sind Neutrinos, Higgs und LHC? Gibt es Leben auf fernen Planeten? Wo ist die Grenze der wissenschaftlichen Erkenntnis? Ist noch Platz für Gott in unserem Weltbild?

Lieferbar auch als Hörbuch unter: www.science-shop.de/artikel/n67971 – oder rufen Sie uns einfach an!

Bestellen ☎ +49 6221 9126-841
Sie direkt: @ info@science-shop.de



%
Rüdiger Glaser, Hans Gebhardt,
Winfried Schenk
**GEOGRAPHIE
DEUTSCHLANDS**
2007, 280 S. m. zahlr. meist farb. Abb. u. Ktn.,
geb., Wissenschaftliche Buchgesellschaft
Bestell-Nr. 3702

früher € 49,90, **jetzt nur € 24,90 (D), € 25,60 (A)**

Ob es um Ost-West- oder Nord-Süd-Gegensätze, um die Spaß-, die Konsum- oder die Risikogesellschaft geht, ob Geologie, Landschaft und Klima, Umweltbelastungen, der Wirtschaftsstandort Deutschland, die Lage in Mitteleuropa oder der demographische Wandel beschrieben werden: Mit klaren Texten, eindrücklichen Bildern und aussagekräftigen Karten und Grafiken bieten die Autoren und ihr Team ein neues Standardwerk für alle, die etwas über die Geographie Deutschlands erfahren wollen.



%
Douglas R. Hofstadter
**ICH BIN EINE
SELTSAME SLEIFE**
2008, 528 S. m. 30 Abb., farb. Bildtaf.,
geb., Klett-Cotta
Bestell-Nr. 3703 früher € 29,95,
jetzt nur € 14,95 (D), € 15,40 (A)

Jeder Mensch ist eine seltsame Schleife – diesem merkwürdig-einzigartigen Phänomen hat Douglas R. Hofstadter sein neuestes Buch gewidmet. Voller verblüffender Einfälle stellt Hofstadter einem breiten Publikum seine Gedankenexperimente und intellektuellen Abenteuer vor und verbindet sie mit seiner einzigartigen Lebensgeschichte – zu einer seltsamen Schleife.



Thomas Eversberg
HOLLYWOOD IM WELTALL
Waren wir wirklich
auf dem Mond?
2012, 174 S. 40 Farbbabb., kart., Spektrum
Bestell-Nr. 3647
€ 14,95 (D), € 15,40 (A)

Der Astrophysiker Thomas Eversberg setzt sich mit den bekanntesten Verschwörungstheorien der Mondlandungsleugner auseinander und analysiert diese in farbigen Detailaufnahmen und mit vielen vom Buch aus abrufbaren Filmsequenzen. Dabei geht er sowohl auf die ältesten gut bekannten, aber auch die aktuellsten Zweifel an der Mondlandung ein und bietet seinen Lesern so einen spannenden Krimi aus Physik, Politik und Geschichte. Thomas Eversberg arbeitet im Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und weiß daher, wovon er schreibt.



W. Engländer, H.-H. Bergmann
**DIE GROSSE KOSMOS
VOGELSTIMMEN-DVD**
220 Vögel, Filme und Stimmen
2012, 2 DVDs, Begleitbuch, in Box,
INFO-Progr. gem. § 14 JuSchG., Kosmos
Bestell-Nr. 1859
€ 49,99 (D), € 49,99 (A)

220 Vogelarten mit ihren Rufen und Gesängen erfreuen uns durch wunderschöne Bilder in Filmen, die Vögel singen dabei schnabelsynchron! Ein Sprecher erklärt jede Darstellung, das Begleitbuch informiert noch ausführlicher.



Ken Taylor
**KOSMISCHE
KULTSTÄTTEN DER WELT**
Von Stonehenge bis zu
den Maya-Tempeln
2012, 240 S. m. 200 Farbbabb., geb.,
Kosmos

Bestell-Nr. 3638 € 29,99 (D), € 30,90 (A)

Überall auf der Welt zeigen beeindruckende Bauten das himmelskundliche Wissen unserer frühen Vorfahren. In diesem reich bebilderten Buch beschreibt der Archäologe Ken Taylor ausführlich über fünfzig bedeutende Kultstätten auf der ganzen Welt.



Jürgen Beetz
**1+1=10: MATHEMATIK
FÜR HÖHLENMENSCHEN**
2012, X, 334 S. m. 100 Abb., kart.,
Spektrum
Bestell-Nr. 3731
€ 19,95 (D), € 20,60 (A)

Mehr als die einfache Logik eines Frühmenschen brauchen Sie nicht, um die Grundzüge der Mathematik zu verstehen. Denn Sie treffen in diesem Buch viele einfache, fast gefühlsmäßig zu erfassende mathematische Prinzipien des täglichen Lebens. Eine umfassende Übersicht über die »gesamte« Mathematik (definiert durch Abitur- bzw. Erstsemester-Level).