



## Schlaf gut!

Übermüdung schränkt uns ein – Forscher untersuchen, was dabei im Gehirn passiert

### SPIELT GUT

Schachexperten denken anders

### BLITZT GUT

Unter der Erde die Sonne erkunden

### PRODUZIERT GUT

Die ungenutzten Schätze der Paprikapflanze



## Na, hör mal!

Kein glänzendes Metall. Stattdessen Teichpumpen-Schlauch und ein weißer Plastiktrichter. Auf seiner Schlauchtrompete Marke Eigenbau kann Jonathan Paschke tatsächlich spielen – klar erkennbar: die ersten Takte von Beethovens „Ode an die Freude“. Herausgefunden, wie sein Trompetenbausatz am besten klingt, hat der neunjährige Schüler der Gemeinschaftsgrundschule Jülich-West mit genauen Frequenzmessungen und Berechnungen, etwa von Schlauchlänge und Tonhöhe. Das brachte ihm beim diesjährigen Regionalwettbewerb „Schüler experimentieren“ im Forschungszentrum einen ersten Platz in der Sparte Physik ein und die Weiterreise zum Landeswettbewerb.

Selbst hören, wie die Schlauchtrompete klingt? Video unter: [effzett.fz-juelich.de](http://effzett.fz-juelich.de)

NACHRICHTEN

5

TITELTHEMA**Schlaflos in Köln**

Viel Kaffee, wenig Schlaf: Forscher wollen herausfinden, wie das Gehirn darauf reagiert. Benjamin Marschner hat sich testen lassen.

8

FORSCHUNG**Wie lange lebt ein Neutron?**

Jülicher Physiker sind der Antwort einen Schritt nähergekommen – dank neuer mathematischer Methoden.

16

**Voll ausgeschöpft!**

Ungenutzte Reste der Paprikapflanze enthalten wertvolle Stoffe. TaReCa will sie erschließen.

18

**Experten sind besser vernetzt**

Schach ist für Hirnforscher wie Robert Langner mehr als nur ein Spiel.

22

**Eine Brücke nach Afrika**

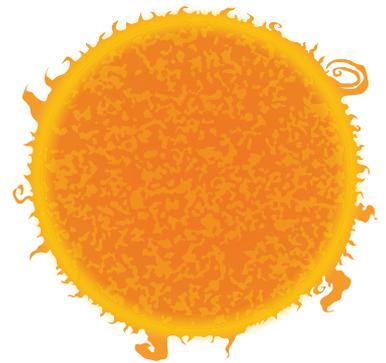
Wissenstransfer unterstützt nachhaltigen Ackerbau.

24

**Bitte anfassen!**

Fühlen auf dem Smartphone: Computermodell liefert die Basis.

26

**Sonnenteleskop unter Tage**

Neue Daten bestätigen bisherige Erkenntnisse über die Energieproduktion der Sonne.

29

RUBRIKEN**Aus der Redaktion**

4

**Impressum**

4

**Woran forschen Sie gerade?**

21

**Besserwissen**

28

**Gefällt uns**

31

**Forschung in einem Tweet**

32

# Schlafenszeit

Eule oder Lerche? Nachtaktiv oder Frühaufsteher? Die Frage nach der Schlafgewohnheit kennen Sie bestimmt. Aber vielleicht sind Sie gar kein Vogel. Vielleicht sind Sie ein Wolf, ein Löwe, ein Bär oder ein Delfin. Diese Einteilung schlägt der US-amerikanische Schlafforscher Michael Breus vor: Der Löwe brüllt morgens voller Energie, schläft aber abends sofort erschöpft ein. Dagegen geht der Morgenmuffel Wolf am liebsten abends auf die Jagd. Der Delfin ist ebenfalls abends aktiv, hat jedoch einen leichten und unruhigen Schlaf. Der Bär brummt mittags mit viel Elan und schlummert dafür nachts besonders lang und tief.

Wir schlafen zu verschiedenen Zeiten und benötigen auch unterschiedlich viel Schlaf. Besonders deutlich wird das bei Schlafmangel, wie unsere Titelgeschichte zeigt: Einige stark übermüdete Menschen zeigen kaum Leistungsschwächen, während andere extrem unkonzentriert und fahrig werden. Was dabei im Gehirn passiert, untersuchen Kölner, Züricher und Jülicher Forscher im Schlaflabor. Wir haben sie dort besucht.

Lesen Sie außerdem, wie sich Stängel und Blätter von Paprikapflanzen gewinnbringend nutzen lassen, was wir von Schachspielern lernen können und wie Forscher Botschaften der Sonne tief im Berg empfangen.

Wir wünschen Ihnen einen allzeit wachen Geist und viel Spaß beim Lesen!

Ihre effzett-Redaktion

Noch mehr drin!

Jetzt das Online-Magazin lesen



↑ Die effzett können Sie auf allen Endgeräten lesen – vom Smartphone bis zum PC. Einfach online aufrufen: [effzett.fz-juelich.de](http://effzett.fz-juelich.de)

## Impressum

**effzett** Magazin des Forschungszentrums Jülich, ISSN 1433-7371

**Herausgeber:** Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich

**Konzeption und Redaktion:** Annette Stettien, Dr. Barbara Schunk, Christian Hohlfeld, Dr. Anne Rother (Vi.S.d.P.)

**Autoren:** Marcel Bülow, Dr. Frank Frick, Christian Hohlfeld, Dr. Jens Kube, Katja Lüers, Dr. Regine Panknin, Philippe Patra, Tobias Schlöber, Dr. Barbara Schunk, Brigitte Stahl-Busse, Angela Wenzik, Erhard Zeiss

**Grafik und Layout:** SeitenPlan GmbH, Corporate Publishing Dortmund

**Bildnachweise:** Forschungszentrum Jülich (31 re.), Forschungszentrum Jülich/Marcel Bülow (24-25), Forschungszentrum Jülich/Sascha Kreklau (Titel, 3 li. o., 6 li., 8-15, 18-19, 21, 27 o.), Forschungszentrum

Jülich/Ralf-Uwe Limbach (2, 3 Mitte u., 6 re., 17 o., 23, 32), BOREXINO Collaboration (29), CC BY-NC-ND/www.weltderphysik.de (17 Grafik), Diane Köhne (Illustration mit Text), SeitenPlan GmbH (27 Abbildungen 1-2), alle im Folgenden genannten Motive sind von Shutterstock.com: Bloomicon (31 li.), Guitar photographer (5 o.), MaraQu (16-17 Hintergrund), MoonRock (5 u.), Nattika (3 Mitte o.), perfectlab (7), Peshkova (4), Sentavio (26 Illustration), SkyPics Studio (3 re., 30), spacezerocom (28 Hinterlegung), vchal (3 li. u.)

**Kontakt:** Geschäftsbereich Unternehmenskommunikation, Tel.: 02461 61-4661, Fax: 02461 61-4666, E-Mail: [info@fz-juelich.de](mailto:info@fz-juelich.de)

**Druck:** Schloemer Gruppe GmbH

**Auflage:** 4.500



PHYSIK

# Das Gleiten der Gletscher

Durch den Klimawandel ändert sich die Geschwindigkeit, mit der Gletscher fließen und Eis ins Meer transportieren. Um sie zu berechnen, nutzen Forscher Computermodelle. Eine neue Theorie des Jülicher Physikers Bo Persson könnte helfen, diese Modelle zu verbessern. Er hat das Gleiten von Gletschereis auf felsigem Boden in Formeln gepackt. Sie beschreiben unter anderem, wie wassergefüllte Hohlräume zwischen Eis und Untergrund die Gleitgeschwindigkeit eines Gletschers beeinflussen.

- PETER GRÜNBERG INSTITUT -

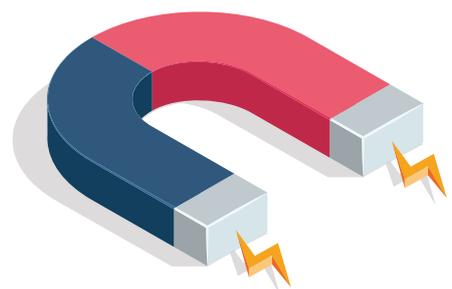


MATERIALFORSCHUNG

## Neuer Zustand im Kristall

Magnetische Materialien kannte bereits der griechische Gelehrte Thales von Milet. Doch auch mehr als 2.500 Jahre später sind sie noch immer für eine Überraschung gut. Forscherinnen und Forscher aus Jülich, Polen und Japan haben jetzt einen neuen Vielteilchenzustand in einem Eisenkristall entdeckt – sie fanden ihn genau dort, wo Theoretiker des Peter Grünberg Instituts ihn bereits vorhergesagt hatten.

- PETER GRÜNBERG INSTITUT -





**„Wir haben damals scherzhaft gesagt: Falls der Meeresspiegel steigt, sind wir in Bochum sicher.“**

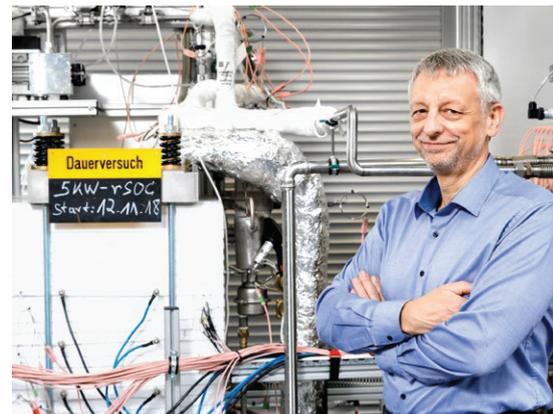
Klimaforscher Prof. Andreas Wahner in einem Interview zur ersten Weltklimakonferenz vor 40 Jahren. Lesen Sie das ganze Interview auf unserer Website: [fz-juelich.de/weltklimakonferenz](http://fz-juelich.de/weltklimakonferenz)

# 62

## Prozent

– dieser elektrische Wirkungsgrad einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle „made in Jülich“ ist Weltrekord. Keine andere Anlage hat bislang effizienter aus Wasserstoff Strom erzeugt. Das Besondere: In der Brennstoffzelle kann auch der umgekehrte Vorgang ablaufen, also mit Strom Wasserstoff produziert werden.

- INSTITUT FÜR ENERGIE- UND KLIMAFORSCHUNG -



## Vorbild Gorilla-Glas

Gorilla-Glas ist besonders bruch- und kratzfest. Smartphone-Displays aus diesem Glas bleiben bei Stürzen aus einem Meter Höhe meist intakt. Das Erfolgsrezept: Durch eine Wärmebehandlung wird die Oberfläche des Glases vorgespannt. Jülicher Forscher haben eine Beschichtung entwickelt, die das Prinzip der Vorspannung auf eine transparente Keramik überträgt und so deren Bruchwiderstand verdoppelt. Transparente Keramiken eignen sich als Sichtfenster oder für optische Linsen, weil sie sehr hitzestabil sind und Licht stärker bündeln als Glas.

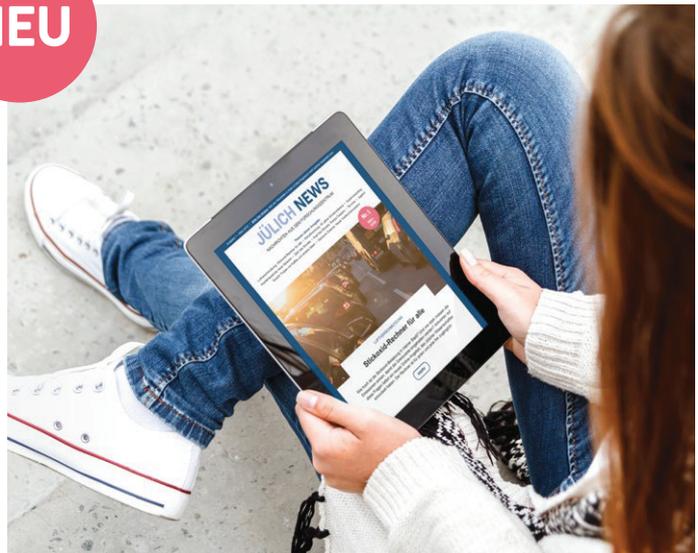
- INSTITUT FÜR ENERGIE- UND KLIMAFORSCHUNG -

NEU

## Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Ab sofort gibt Ihnen unser neuer E-Mail-Newsletter jeden Monat einen Überblick über Wissenschaft, Personen und Projekte im Forschungszentrum.

Anmeldung:  
[www.fz-juelich.de/juelich-news](http://www.fz-juelich.de/juelich-news)



## Neuzugang: Hochleistungslaser Vega



Vega pulst mit 1,4 Billionen Watt Leistung – das entspricht in etwa der Hälfte des durchschnittlichen weltweiten Stromverbrauchs.\* Er tut dies 1.000-mal pro Sekunde für 30 Femtosekunden (0,000 000 000 000 03 Sekunden).

Im Durchschnitt entspricht seine Leistung daher der einer 40-Watt-Glühbirne.



Vega ermöglicht die Untersuchung ultraschneller physikalischer Prozesse und die Entwicklung neuer Materialien für die Informationstechnologie (zum Beispiel für Datenspeicher). Er ist Teil des kürzlich eingeweihten Jülicher Laserlabors JuSPARC.

\*Weltweiter Stromverbrauch im Jahr 2016: 20.863 TWh, was einer durchschnittlichen Leistung von 2,4 TW (2,4 Billionen Watt) entspricht  
 Quelle: Electricity Information 2018, International Energy Agency

STARTSCHUSS

## Energiewende simulieren

Wie beeinflussen extreme Wetterereignisse ein Energiesystem, das überwiegend auf erneuerbaren Energien beruht? Sind lokale Windkraftanlagen günstiger als ein landesweites Versorgungsnetz mit Offshore-Windrädern? Antworten auf Fragen rund um die Energiewende suchen Forscher mithilfe von Modellrechnungen auf Supercomputern. Doch in den aktuellen Modellen repräsentiert oft ein einziger Datenknoten ein ganzes Bundesland. Das wollen Forscher aus Jülich, Aachen und Erlangen-Nürnberg ändern: Im Projekt METIS arbeiten sie seit Ende 2018 an Modellen und Werkzeugen, die detailreiche Simulationen von mehreren Jahrzehnten erlauben. Der Bund fördert METIS mit über 1,8 Millionen Euro.

- INSTITUT FÜR ENERGIE- UND KLIMAFORSCHUNG -



# Schlaflos in Köln

Eine Gitarre, ein karges Zimmer, viel Kaffee und wenig Schlaf – zehn Tage hat der Musiker und Student Benjamin Marschner auf seinen Alltag verzichtet. Herausgekommen ist kein neues Studioalbum, sondern ein Haufen Daten für die Wissenschaft. Jülicher, Kölner und Züricher Forscher untersuchen, was Schlafmangel mit uns anstellt und ob Kaffee hilft, die Müdigkeit zu vertreiben.  
Ein Besuch im Schlaflabor.

Tag 1

## Die Anreise

Müde ist er an diesem grauen Wintermorgen nicht: Im Gegenteil – ausgeruht macht sich Benjamin Marschner auf den Weg ins Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Köln (DLR). Zehn Tage will er dort an einer Schlafstudie teilnehmen. Mit dabei: sein Laptop und – wie es sich für einen leidenschaftlichen Musiker gehört – die Gitarre. So ganz genau kann sich der 32-Jährige nicht vorstellen, was ihn erwartet – obwohl er umfangreiche Studienrahmenbedingungen bekommen hat: „Es geht im Kern darum, wie sich Schlafmangel auf meine Leistungsfähigkeit auswirkt und welche Rolle Kaffee dabei spielt.“

Bereits zwei Wochen vor Studienbeginn durfte Marschner keinen Kaffee und Alkohol mehr trinken, musste neun Stunden am Stück schlafen und vor allem: keine Schokolade mehr essen. „Die fehlt mir am allermeisten“, räumt der Musikstudent ein. Doch nun ist er vor allem neugierig auf sein neues Zuhause. „Ein bisschen Gitarre spielen, vielleicht den einen oder anderen Song schreiben und zwischendurch schlafen“, beschreibt er seine Vorstellung.

← Müde – und nun? Schlafen darf Benjamin Marschner jedenfalls nicht. Die Schlafstudie, an der er teilnimmt, gibt genau vor, wann er ins Bett gehen darf. Marschners Gitarre steht schon seit zwei Tagen ungenutzt in der Ecke – zu müde fühlt sich der 32-Jährige.

Marschner registriert sich am Haupteingang des DLR und geht die zehn Minuten zum Labor zu Fuß über das weitläufige Gelände. „Eigentlich eine schöne Ecke“, denkt er unterwegs und freut sich auf ein paar Spaziergänge in den nächsten Tagen.

Auf einer Erhebung thront schließlich sein Ziel: das futuristisch anmutende Forschungszentrum „envihab“ – viel Glas, noch mehr Weiß. Das Gebäude erinnert eher an ein Raumschiff als an ein Labor. Marschner ist beeindruckt. Am Hintereingang drückt er auf die Klingel. Ein Mitarbeiter öffnet, schüttelt ihm die Hand und grinst fröhlich: „Ich bin Diego, komm doch rein.“ Hinter den beiden fällt die Tür ins Schloss. Erst zehn Tage später wird sie sich für den Musiker wieder öffnen.





↑ Ein Blick in die Unterlagen: Marschner studiert in seinem Zimmer die Aufgaben für die nächsten Tests.

Tag 3

## Die Eingewöhnung

Zwei Nächte hat Marschner bereits hinter sich. Sein karges Zimmer strahlt wenig Atmosphäre aus: Klinisch steril, lediglich Bett, Schrank und ein Rechner für die Testversuche finden Platz. „Wir dürfen nur zum Schlafen in die Zimmer“, erklärt Marschner. „Wir“, damit meint er noch eine weitere Studien-Teilnehmerin, mit der er die Tage im deutlich gemütlicheren Aufenthaltsraum verbringt, Monopoly spielt oder Fernsehen guckt. Sport ist nicht erlaubt, genauso wenig wie nervenaufreibende Shooter-Spiele am PC oder unterhaltsame Telefonate mit Freunden – im Prinzip alles, was Müdigkeit verschleucht. Eine Kamera überwacht das Geschehen, selbst ein Nickerchen ist nicht gestattet.

„Es ist schon gewöhnungsbedürftig, die ganze Zeit so kontrolliert den Tag und auch die Nacht zu verbringen – aber das Personal und vor allem meine ‚Studieneltern‘ sind supernett“, erzählt Marschner und meint damit das Forscherehepaar Dr. Eva-Maria und Dr. David Elmenhorst. Die Medizinerin forscht am DLR zum Thema Schlaf, ihr Mann, ebenfalls Arzt, hat sich am Jülicher Institut für Neurowissenschaften und Medizin (INM-2) auf Methoden der molekularen Bildgebung spezialisiert. Ihre gemeinsame Schnittmenge ist – außer dass sie verheiratet sind und sich für Schlaf interessieren – ein Positronenemissionstomografie(PET)-Hirnschanner, der im DLR-Schlaflabor steht, aber vom Forschungszentrum Jülich betrieben wird. „Diese Kombination aus Schlaflabor und bildgebenden Verfahren an einem Standort ist weltweit einzigartig“, erklärt David Elmenhorst, „Hirnschans, wie wir sie mithilfe der PET erstellen, helfen uns, die Struktur und Funktion des Gehirns zu erforschen.“ Um die Stoffwechselfvorgänge sichtbar zu machen, injiziert er den Studienteilnehmern einen radioaktiv markierten Stoff in die Blutbahn, einen sogenannten Tracer. Dieser sendet etwa zwei Stunden lang eine messbare Strahlung aus und muss daher für jede Untersuchung frisch von Nuklearchemikern am Jülicher Institut für Neurowissenschaften und Medizin (INM-5) hergestellt und zum DLR transportiert werden.

Tag 4

## Ruhe vor dem Sturm

Es ist ein kontrollierter Versuchsalltag eingeleitet. Die Beleuchtung liegt maximal bei schummrigen 100 Lux – mehr Licht würde wie ein Muntermacher wirken, diesen Effekt wollen die Forscher jedoch vermeiden. Zum Vergleich: Eine Straßenlaterne hat etwa 10 Lux, ein strahlender Sonnentag kann 100.000 Lux überschreiten. Die beiden Probanden haben die bisherigen Nächte voll verkabelt acht Stunden durchgeschlafen. „Das ist die Eingewöhnungszeit, in der wir sämtliche Daten von unseren ausgeruhten und ausgeschlafenen Probanden erheben, der koffeinfreie Status quo sozusagen, den wir auch mit PET messen“, erklärt Eva-Maria Elmenhorst. Der für die Forschung spannende Teil beginnt, wenn die Probanden mit weniger Schlaf auskommen müssen. Das Forscherpaar untersucht, wie sich Schlafmangel auf unsere Leistungsfähigkeit auswirkt. Eva-Maria Elmenhorst interessiert sich vor allem für Berufsgruppen im Schicht- und Nachtdienst, die besonderen Schlaf- und Erholungsbedingungen ausgesetzt sind: Piloten, Lotsen, Krankenpfleger, Lkw-Fahrer oder Astronauten – immerhin 16 Prozent der Erwerbstätigen arbeiten im Schichtdienst.

„Wir wissen, dass diese Art der Arbeit langfristig negative Konsequenzen für die Gesundheit hat“, sagt die Wissenschaftlerin. Das Risiko für Bluthochdruck, Zuckererkrankungen und sogar Krebserkrankungen steigt. Auch ein Zusammenhang mit Depressionen scheint zu existieren.



↑ Nicht nur wissenschaftlich ein Herz und eine Seele: das Forscherehepaar Dr. Eva-Maria und Dr. David Elmenhorst. Sie forscht am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln, er am Institut für Neurowissenschaften und Medizin des Forschungszentrums Jülich.

Außerdem stellen chronisch übermüdete Menschen eine Gefahr für den Straßenverkehr dar: Laut Bundesamt für Statistik werden 2.000 Unfälle pro Jahr, bei denen Personen zu Schaden kommen, durch das Einschlafen des Fahrers verursacht. „Bereits nach einer einzigen schlaflosen Nacht ist das Fahrverhalten so beeinträchtigt wie nach zwei Flaschen Bier“, erklärt die Ärztin ihrem erstaunten Probanden – davon hat Marschner bisher noch nichts gewusst.

Eine zentrale Rolle übernimmt der Botenstoff Adenosin: In verschiedenen Hirnregionen steigt seine Konzentration im Tagesverlauf. Je länger wir wach bleiben, umso höher die Konzentration. Das Adenosin dockt an bestimmte Rezeptoren im Gehirn an und hemmt die Neuronen-Aktivität. „Es wirkt wie ein elektrischer Dimmer, der die Nerven von wach auf müde stellt, wodurch das Bedürfnis nach Schlaf entsteht“, erklärt David Elmenhorst, der genau diese Prozesse mit den Hirnscans untersucht.

### Schlaf – das Wichtigste in Kürze



Je länger wir wach sind, umso höher steigt die Adenosinkonzentration in unserem Gehirn. Als Neuromodulator wirkt Adenosin wie ein Dimmer, der die Nerven von wach auf müde stellt. Das Bedürfnis nach Schlaf entsteht und wächst im Tagesverlauf.



Viele kennen es aus dem Alltag: Nach einer einzigen zu kurzen Nacht fühlen wir uns müde und unkonzentriert. „Die meisten Menschen reagieren ungefähr so wie mit einem Blutalkohol von 0,6 Promille“, erklärt David Elmenhorst.



Erstaunlicherweise reagieren nicht alle Menschen gleich auf Schlafentzug. Die Studien von Eva-Maria und David Elmenhorst belegen: Manche Versuchspersonen zeigten sich selbst nach 52 Stunden Schlafentzug noch konzentriert. Die Wissenschaftler gehen davon aus, dass genetisch bedingte Unterschiede im Adenosinsystem dafür verantwortlich sind: „Bei den kaum beeinträchtigten Personen fanden wir wider Erwarten besonders viele freie Adenosinrezeptoren, an die unser radiomarkierter Ligand binden konnte. Vermutlich produzieren sie weniger Adenosin als empfindliche Personen.“ Langfristig könnten sich daraus Berufsempfehlungen entwickeln, denn für manchen Menschen stellt der Schichtdienst eine besondere Belastung dar.

Aber auch Koffein besetzt diese Rezeptoren und verdrängt das Adenosin und in Teilen die Müdigkeit. „Kaffee könnte neben der bekannten kurzzeitigen Leistungssteigerung auch eine chronische Veränderung auf der Rezeptorebene bewirken, zum Beispiel bei der Anzahl der Rezeptoren. Auch das versuchen wir herauszufinden“, so der Forscher. Möglicherweise können regelmäßige Kaffeetrinker mit Schlafmangel besser umgehen und sind weniger anfällig für Leistungseinbußen – die Kaffeestudie mit 40 Probanden soll Aufschluss bringen.

Die Versuchspersonen erhalten ab dem fünften Tag eine exakte Menge an Koffein: drei Tassen am Tag, 300 Milligramm Koffein – zumindest die eine Hälfte der Studienteilnehmer. Die andere Hälfte trinkt koffeinfreien Kaffee. Beide Sorten stellt der Kooperationspartner Institute for the Scientific Information on Coffee (ISIC) bereit, ein Forschungsinstitut der Kaffeewirtschaft. Kontrolliert eingesetzt, könnte Koffein sich als Bestandteil von Psychostimulanzien für all jene Berufsgruppen eignen, bei denen Wachsein oberste Priorität hat. „Wir müssten eine Verabreichungsform finden, die lange wirkt – ohne die bekannten Nebenwirkungen wie Herzrasen oder erhöhten Blutdruck“, sagt Elmenhorst.

### Kurzschlaf macht krank



Verschiedene Studien belegen: Kurzschläfer, die regelmäßig weniger als sieben Stunden schlafen, müssen mit Folgen für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit rechnen. Sie besitzen ein 12 Prozent höheres Risiko früher zu sterben. Chronischer Schlafmangel und durchwachte Nächte sind in unserer Gesellschaft aber weit verbreitet, neben Schicht- und Nachtarbeit ist beispielsweise auch Verkehrslärm ein Faktor, der die Schlafqualität und -dauer beeinträchtigt.



Schlafmangel führt zu Fehlzeiten am Arbeitsplatz und zu einem Rückgang der Produktivität, was sich auf die Wirtschaftsleistung eines Landes niederschlägt. Eine Studie von RAND Europe, einem Ableger der kalifornischen Denkfabrik RAND, hat ergeben, dass in Deutschland jährlich 200.000 Arbeitstage verloren gehen, was einer Wirtschaftsleistung von 40 Milliarden Euro oder 1,56 Prozent des Bruttosozialprodukts entspricht.

# 162

Liter Kaffee trinkt jeder Deutsche pro Jahr – er ist damit unser Lieblingsgetränk

Quelle: Tchibo Kaffeereport 2018

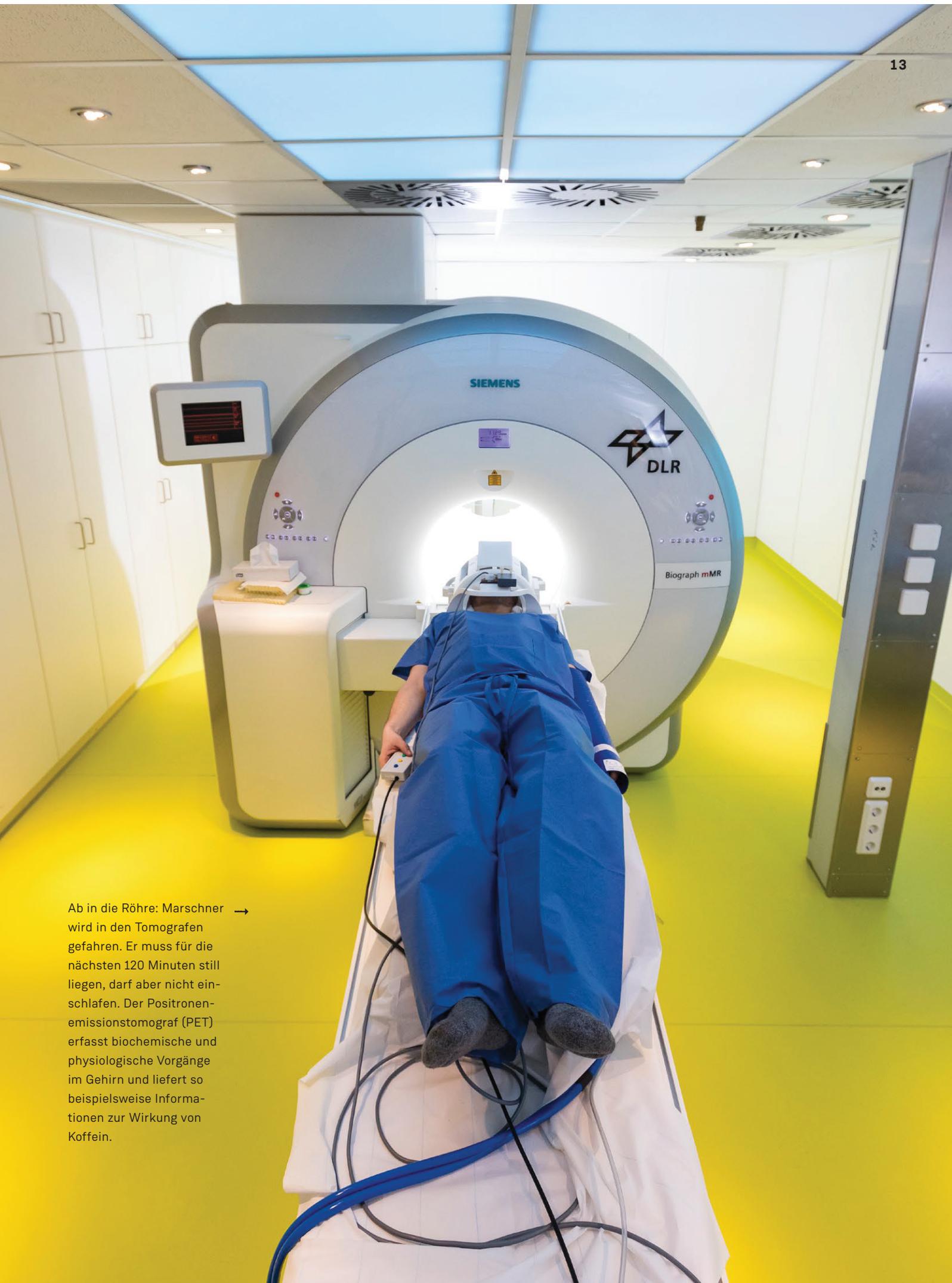
Für Marschner steht heute noch der erste Hirnscan an. Die Tracer-Lieferung aus Jülich wird bereits mit Spannung erwartet, denn unerwartete Staus haben in der Vergangenheit bisweilen für Aufregung und Verzögerungen gesorgt. Kommt der Tracer zu spät, klappt die pünktliche Messung für den Tag nicht. Doch der Fahrer trifft rechtzeitig ein – die Erleichterung ist dem Ehepaar Elmenhorst anzumerken. Die PET macht sichtbar, wo sich der markierte Stoff im Gehirn an die adenosinfreien Rezeptoren heftet.

„Bei der Vorstellung, dass ich kurzfristig verstrahlt bin, ist mir schon ein bisschen mulmig zumute“, gibt Marschner zu, aber die Wissenschaftler haben ihn ausgiebig über die Nebenwirkungen aufgeklärt, der radioaktive Tracer wird größtenteils über den Urin wieder ausgeschieden. Zwei Stunden muss er ruhig im Scanner liegen und Wahrnehmungs-, Konzentrations- und Merktests beantworten. Noch fühlt der junge Mann sich ausgeruht. Und auch der anstehenden Nacht mit nur fünf Stunden Schlaf sieht er gelassen entgegen – alles wird überstrahlt von der Vorfreude auf den ersten Kaffee nach über drei Wochen Abstinenz am morgigen Vormittag.

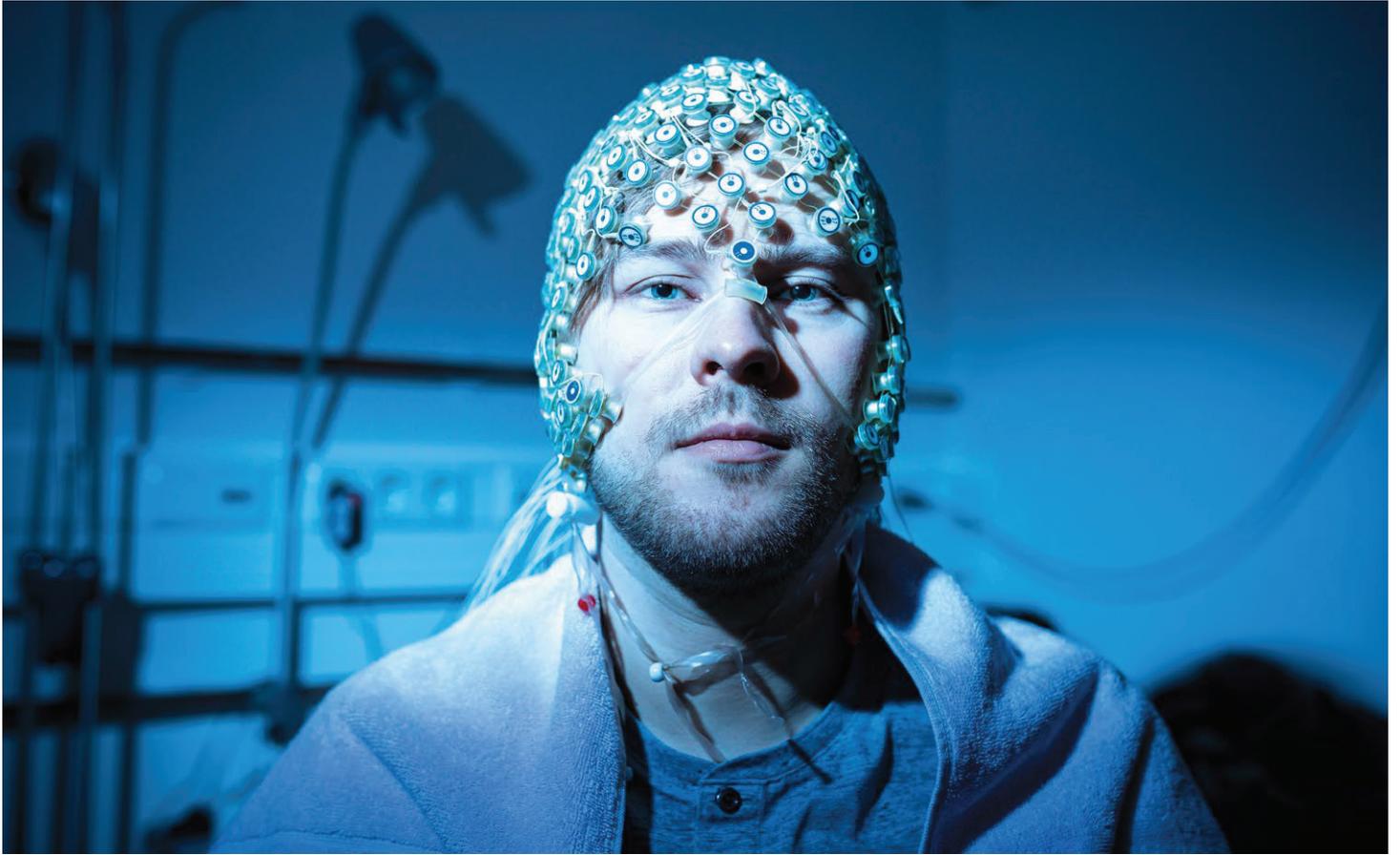
Tag 9

### Quälender Schlafentzug

Es ist noch früh am Morgen, als Benjamin Marschner geweckt wird – fünf Nächte in Folge hat er maximal fünf Stunden am Stück geschlafen: „Wir sprechen in solchen Fällen von einem chronischen Schlafmangel“, erklärt David Elmenhorst. Wissenschaftler sind sich inzwischen einig, dass 7 bis 7,5 Stunden die optimale „Schlafdosis“ sind, damit wir konzentriert und gut gelaunt durch den Tag kommen. Marschner ist weder gut gelaunt noch fühlt er sich ausgeschlafen: „Nur nicht aufstehen“, ist sein erster Gedanke. Doch Diego, Doktorand an der Universität Zürich und einer der Mitarbeiter an der Schlafstudie, kennt kein Erbarmen. Marschner fühlt sich gerädert und unkonzentriert. Im Laufe der Woche hat er immer weniger gelesen: „Ich kann mich nur noch visuell ablenken“, erzählt der Kölner – da nützt selbst der Kaffee nichts mehr, von dem er nicht einmal weiß, ob er überhaupt Koffein enthält. Die Gitarre steht seit Tagen unbenutzt im Aufenthaltsraum.



Ab in die Röhre: Marschner →  
wird in den Tomografen  
gefahren. Er muss für die  
nächsten 120 Minuten still  
liegen, darf aber nicht ein-  
schlafen. Der Positronen-  
emissionstomograf (PET)  
erfasst biochemische und  
physiologische Vorgänge  
im Gehirn und liefert so  
beispielsweise Informa-  
tionen zur Wirkung von  
Koffein.



↑ Bereit für die nächste Mars-Erkundung? Bei dem futuristisch anmutenden Outfit handelt es sich um ein bildgebendes Verfahren ohne Nebenwirkungen: die Wach-Elektroenzephalografie (EEG). Die kleinen Metallplättchen messen Marschners Gehirnströme, die grafisch aufgezeichnet werden. Das Elektroenzephalogramm erlaubt Rückschlüsse auf die Hirnaktivität.

Am Rechner testet Eva-Maria Elmenhorst Marschners Konzentration, Reaktionszeit und sein Arbeitsgedächtnis: Er soll sich an einige zuvor gezeigte Buchstaben erinnern. Und reagieren, wenn sie sich wiederholen. „So lässt sich die aktuelle Leistungsfähigkeit seines Arbeitsgedächtnisses mit der ausgeschlafener Testpersonen vergleichen“, erklärt die Medizinerin.

Ein weiterer Aufmerksamkeitstest, der sehr sensibel verdeutlicht, ob Marschners subjektive Einschätzung der Konzentration mit seiner tatsächlich vorhandenen übereinstimmt, ist der sogenannte Psychomotorische Vigilanztest: Der Student muss sofort einen Knopf drücken, wenn eine Stoppuhr auf dem Bildschirm erscheint – manchmal registriert er die Stoppuhr gar nicht mehr, seine Reaktionszeiten verlangsamen sich messbar. „Während manche übermüdete Menschen extrem unkonzentriert sind und sogar Aussetzer haben, sind bei anderen kaum Leistungsschwächen zu erkennen – die Zusammenhänge im Gehirn müssen wir erst noch verstehen“, so die Fachärztin für Physiologie.

Das Ehepaar Elmenhorst interessiert sich vor allem dafür, wie sich der maximale chronische Schlafentzug zu diesem Zeitpunkt auf die Anzahl der Adenosinrezeptoren auswirkt: So muss der 32-Jährige erneut 100 Minuten im Hirnscanner still liegen, die ihm inzwischen endlos vorkommen. Immer wieder übermannt ihn fast der Schlaf – wenn da nicht die Stimme der Assistentin wäre, die ihn über die Lautsprecher wach hält: „Ich verwickle die Probanden immer in Gespräche, damit sie nicht einschlafen“, erzählt die medizinisch-technische Assistentin Annette von Waechter – sozusagen zwei Stunden Dauerunterhaltung, ein echte Herausforderung, die sich aber lohnt. Denn die Forscher erfassen in dieser Zeit entscheidende Daten. Die PET-Bilder sollen den Wissenschaftlern verraten, ob sich im Gehirn widerspiegelt, was offensichtlich ist: Marschner braucht dringend Schlaf. Um 23 Uhr darf er endlich für acht Stunden verkabelt ins Reich der Träume entfliehen.

# 57

Milliarden Euro gehen der deutschen Wirtschaft jedes Jahr durch müde Arbeitnehmer verloren

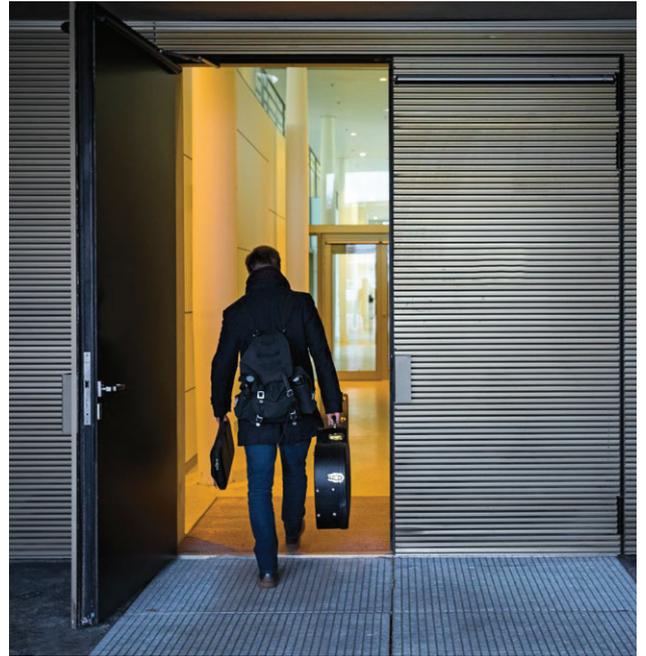
Tag 10

## Heimkehr

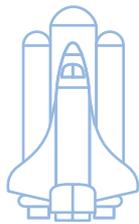
Um Punkt sieben Uhr hat es sich ausgeträumt: Marschner wird geweckt. „Ich kann mich nicht mehr an viel erinnern, nur dass ich sofort eingeschlafen bin.“ Heute fühlt er sich ausgeruhter und freut sich auf seinen letzten Tag im Labor. Noch einmal Blut abnehmen, die morgendlichen Tests absolvieren und noch einmal PET – der Ablauf ist für ihn schon Routine. „Wir wollen überprüfen, wie schnell die Werte der Adenosinrezeptoren nach dem Erholungsschlaf auf das Ausgangsniveau zurückfallen – das scheint erstaunlich schnell zu gehen. Das belegen zumindest die bisherigen Studienergebnisse“, so David Elmenhorst. Auch die Konzentrationstests fallen Marschner heute deutlich leichter.

Und dann ist Schluss. Zum Abschied umarmt er seine „Studieneltern“: „Die sind mir richtig ans Herz gewachsen.“ Für die Zukunft hat der Musiker sich vorgenommen, regelmäßiger zu schlafen, um leistungsfähig zu bleiben – und weiter Kaffee zu trinken. Marschner öffnet die Tür nach draußen: Tief einatmen – das erste Mal Frischluft nach zehn Tagen – und endlich wieder Schokolade essen.

KATJA LÜERS



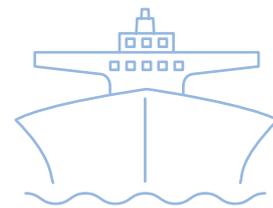
# Schlafmangel mit fatalen Folgen



Cape Canaveral 1986

## Challenger

Am 28. Januar 1986 um 11.38 Uhr Ortszeit hebt die Raumfähre „Challenger“ ab. Millionen Fernsehzuschauer verfolgen den Start. 73 Sekunden später explodiert die „Challenger“ in 15 Kilometer Höhe über dem Atlantik. Der Absturz der Raumfähre wurde durch eine Fehlentscheidung mitverursacht, die die Verantwortlichen nach weniger als zwei Stunden Schlaf am frühen Morgen getroffen hatten.



Alaska 1989

## Exxon Valdez

Am 24. März 1989 rammt der Öltanker „Exxon Valdez“ gegen Mitternacht vor der Küste Alaskas ein Riff. Mehr als 40 Millionen Liter Öl fließen ins Meer. Die Havarie ereignete sich, nachdem das Schiff nachts die übliche Route verlassen hatte, um Eisbergen auszuweichen. Der Kapitän überließ während des Umweges das Ruder seinem unerfahrenen dritten Offizier. Der übermüdete Offizier versäumte es, das Schiff wieder auf den ursprünglichen Kurs zu bringen.

# Wie lange lebt ein Neutron?

Obwohl die Physik den Aufbau von Atomkernen sehr gut beschreiben kann, gibt es bei einem fundamentalen Wert noch große Unsicherheit: bei der Lebensdauer des Neutrons. Mit einem neuen numerischen Verfahren sind Jülicher Forscher nun der Lösung dieses Rätsels einen Schritt näher gekommen.

Alle Atomkerne, aus denen unser Universum aufgebaut ist, bestehen aus Protonen und Neutronen – je nach Art des Atoms in unterschiedlicher Anzahl. Kommen Neutronen oder Protonen einzeln vor, unterscheiden sie sich in einem wichtigen Punkt: Während das freie Proton ewig oder zumindest unvorstellbar lange existieren kann, lebt ein freies Neutron vergleichbar kurz, bevor es zerfällt. Seine mittlere Lebensdauer beträgt nur rund 15 Minuten. Wie lange genau, können Physiker nicht sagen – ungewöhnlich für die sonst so präzisen Wissenschaftler.

Ein Grund sind unterschiedliche Beobachtungen: Betrachten Physiker das Verschwinden der Neutronen, erhalten sie eine andere Lebensdauer, als wenn sie das Auftreten der Zerfallsprodukte erfassen. Die zwei Messmethoden sind – für sich betrachtet – sehr exakt, ihre Ergebnisse unterscheiden sich aber um gut 8 Sekunden. Für Physiker ist das eine halbe Ewigkeit. Dieser Unterschied ist bisher nicht nur unerklärlich, sondern auch unbefriedigend. Die exakte Lebensdauer des Neutrons zu kennen, würde nämlich helfen, die Gesetze des Universums besser zu verstehen und theoretische Vorstellungen vom Urknall zu überprüfen.

Computersimulationen sollen hier weiterhelfen. Allerdings: „Wie lange ein einzelnes Neutron existiert, kann man nicht vorhersagen. Denn die Quantenmechanik, die diesen Prozess beschreibt, liefert lediglich Wahrscheinlichkeiten“, beschreibt Dr. Evan Berkowitz vom Institut für Kernphysik/Institute for Advanced Simulation (IKP-3/IAS-4) das bisherige Problem. Doch Berkowitz und seine Kollegen haben die Forschung einen wichtigen Schritt nach vorne gebracht: Sie berechneten mithilfe von Supercomputern erstmals

direkt und so präzise wie nie zuvor, wie groß diese Wahrscheinlichkeit ist.

„Wir haben dazu die sogenannte Kopplungskonstante bestimmt. Sie beschreibt, wie leicht Neutronen aufgrund der schwachen Wechselwirkung zerfallen, der Kraft, die Umwandlungen von einer Teilchenart in eine andere bewirken kann“, erklärt Berkowitz. „Diese Konstante lässt sich mit dem Standardmodell der Teilchenphysik nur schwer berechnen.“

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die neuen mathematischen Methoden der Forscher verbessern die bisher verwendeten Algorithmen eines Teils des Standardmodells, der sogenannten Quantenchromodynamik (QCD). „In ihnen werden Raum und Zeit mittels Punkten auf einem Gitter dargestellt“, erklärt Berkowitz. „Durch diese Konstruktion wird eine Berechnung der Beziehungen zwischen den Elementarteilchen grundsätzlich möglich – allerdings auch dann nur mithilfe leistungsfähiger Supercomputer.“

Die Methode weist außerdem den Weg zu weiteren Verbesserungen, die möglicherweise die Diskrepanz zwischen den Messungen der Lebensdauer des Neutrons aufklären können. Dazu müsste allerdings die Genauigkeit der Berechnungen noch weiter verbessert werden. Grundsätzlich kein Problem, wie Evan Berkowitz meint: „Wenn jemand bereit ist, die Stromrechnung für unsere aufwendigen Berechnungen auf Supercomputern zu bezahlen, können wir die Unsicherheit unserer Antwort immer weiter verringern. Aber“, warnt er, „solche Strommengen sind nicht billig.“



„Wenn jemand bereit ist, die Stromrechnung für unsere Berechnungen auf Supercomputern zu bezahlen, können wir die Unsicherheit unserer Antwort immer weiter verringern.“

EVAN BERKOWITZ

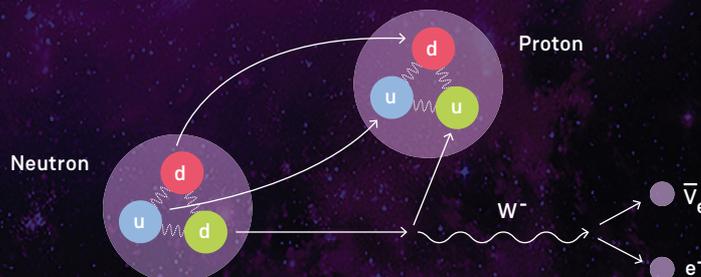
## Mini-Universum simuliert

Neutronen und Protonen bestehen aus sogenannten Quarks – den kleinsten Bausteinen der Materie. Das Neutron ist aus zwei Down-Quarks und einem Up-Quark zusammengesetzt, das Proton aus einem Down-Quark und zwei Up-Quarks. Zusammengehalten werden die Quarks von den Gluonen, einer Art Teilchenkleber.

Wenn ein freies Neutron zerfällt, entstehen zum einen weitere Elementarteilchen – ein Elektron und ein Antineutrino –, zum anderen wandelt sich das Neutron in ein Proton um. In der Welt der Quarks bedeutet das: Aus einem Down-Quark wird ein Up-Quark. Jülicher Forscher haben die Häufigkeit dieses Prozesses berechnet, um die Wahrscheinlichkeit des Neutronenzerfalls zu bestimmen. Sie haben dazu den Teil des Standardmodells der Teilchenphysik genutzt, der beschreibt, wie Quarks und Gluonen miteinander in Wechselwirkung treten, die sogenannte Quantenchromodynamik (QCD). Die Berechnung ist überaus komplex, weshalb die Forscher nur ein winziges

Modell-Universum mit einem einzigen Neutron, bestehend aus den Quarks, simulierten. Selbst für dieses vereinfachte System benötigten sie einen leistungsfähigen Supercomputer.

Ein weiteres Problem: Die Quantenchromodynamik besagt, dass Down-Quarks immer Down-Quarks und Up-Quarks immer Up-Quarks bleiben. Eine Berechnung mithilfe der QCD ergibt somit in der Regel, dass Neutronen stabil sind. „Die QCD ist aber eine Vereinfachung der Realität, denn sie beschreibt nur die starke Wechselwirkung zwischen den Teilchen. Wir müssen berücksichtigen, dass es auch kleine Effekte der schwachen Wechselwirkung zwischen Down-Quarks und Up-Quarks gibt – der Kraft, die es erlaubt, dass sich Teilchen umwandeln. Daher haben wir unserer Simulation die Transformation eines Downs-Quarks in ein Up-Quark hinzugefügt“, erklärt Evan Berkowitz. Dadurch können die Forscher die Kopplungskonstante ermitteln sowie die Wahrscheinlichkeit, dass ein Neutron zerfällt.



Ein Neutron besteht aus einem Up-Quark (u) und zwei Down-Quarks (d). Wenn es zerfällt, entsteht ein Proton. Dafür muss sich ein Down-Quark des Neutrons (d grün) in ein Up-Quark (u grün) umwandeln. Dabei wird ein weiteres Elementarteilchen abgestrahlt: ein negativ geladenes W-Boson ( $W^-$ ), das schließlich in ein Elektron ( $e^-$ ) und ein Antineutrino ( $\bar{\nu}_e$ ) zerfällt.

Es geht um das Grüne: →  
Anika Wiese-Klinkenberg  
züchtet unter speziellen  
Bedingungen Paprika-  
pflanzen, um aus Blättern  
und Stängeln möglichst  
viele wertvolle Rohstoffe  
zu gewinnen.



# Voll ausgeschöpft!

Sind alle Paprika gepflückt, bleibt für Blätter und Stängel nur der Komposthaufen. Das muss nicht sein, finden Forscher aus Jülich, Aachen und Bonn. Sie untersuchen, ob sich aus den ungenutzten Pflanzenresten wertvolle Stoffe für die Medizin, die Kosmetik- und die Lebensmittelindustrie gewinnen lassen. Profitieren könnte am Ende der Gemüsebauer: Er verkauft nicht nur die Frucht, sondern auch die Zusatzstoffe.



Sie sind knackig, frisch und gesund: Paprikaschoten. Die Frucht aus der Familie der Nachtschattengewächse landet längst ganzjährig in allen Farben im Salat, in der Pfanne oder auf dem Grill. Kein Wunder also, dass die Landwirte in Deutschland mehr Paprika anbauen. Klassisch säen sie die Paprika im Gewächshaus aus, hegen und pflegen sie, ernten die Schoten und verkaufen sie. Blätter, Stängel und Wurzeln enden als Kompost. „Verschenkte Ressourcen“, findet Dr. Anika Wiese-Klinkenberg vom Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-2). In dem Verbundprojekt TaReCa entwickelt die Pflanzenphysiologin mit Kollegen der RWTH Aachen und der Universität Bonn Technologien, um auch die

# 2,5

Mal so groß wie noch vor zehn Jahren ist die Fläche, die 2018 in Deutschland mit Paprika bepflanzt wurde

Blätter und Stängel der Pflanze zu verwerten: „Wir nutzen die Pflanze nach der Fruchternte als Produktionsfabrik für wertvolle Substanzen, sogenannte Sekundärmetabolite.“ Dazu zählen unter anderem Farb-, Duft- und Aromastoffe, aber auch Gift- und Bitterstoffe sowie Antioxidantien. Solche Pflanzeninhaltsstoffe sind vor allem für die Medizin, die Kosmetik- und Lebensmittelindustrie interessant.

### GEZIELT STRESS ERZEUGEN

Die Pflanzen locken damit beispielsweise Insekten an oder wehren Schädlinge wie Viren, Pilze oder Bakterien ab. Sie produzieren die bioaktiven Stoffe unter anderem, wenn sie Stress haben wie etwa zu viel Sonne. „Pflanzen können zum Beispiel keinen Sonnenschirm aufspannen, um sich vor zu viel UV-Licht zu schützen und bilden deshalb Sekundärmetabolite, die das UV-Licht absorbieren“, erklärt Wiese-Klinkenberg. Solche Stressreaktionen wollen die Jülicher kontrolliert erzeugen, damit die Pflanze mehr Sekundärmetabolite produziert und die Restmasse aus dem Anbau aufgewertet wird. Erste Versuche mit Tomatenpflanzen hatten die Wissenschaftler bereits in einem vorangegangenen Projekt des Bioeconomy Science Center (BioSC), dem Forschungscluster für nachhaltige Bioökonomie in Nordrhein-Westfalen, durchgeführt.

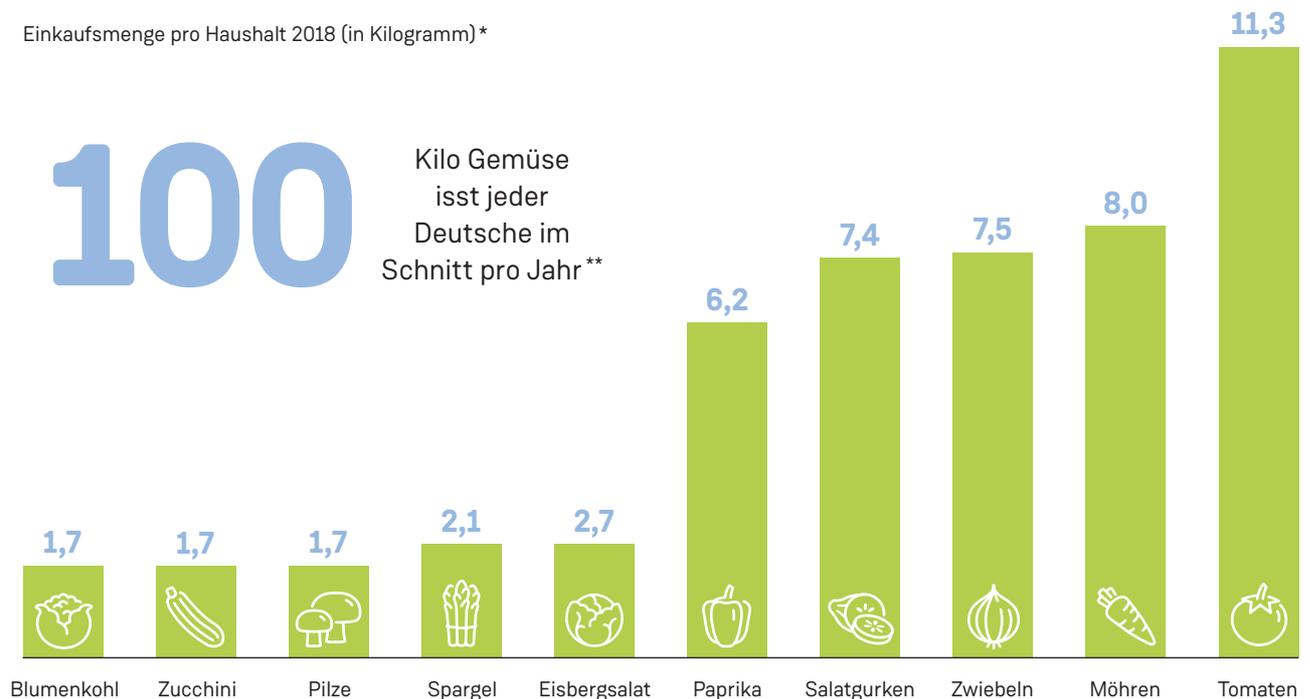
Nun geht es um die Paprika. Bei ihr konzentrieren sich die Jülicher zunächst auf zwei der über 100.000 bekannten sekundären Pflanzenstoffe: die Flavonoide Cynarosid und Graveobiosid A. „Aber wir wollen die Paprikablätter auch auf weitere interessante Inhaltsstoffe untersuchen.“

In den vergangenen Jahren ist die Zahl an Patentanmeldungen mit der Substanz Cynarosid gestiegen. „Wir gehen deshalb davon aus, dass Cynarosid für die Kosmetik- und Pharmaindustrie ein Inhaltsstoff mit vielversprechenden Marktpotenzialen ist“, erklärt Wiese-Klinkenberg. Beim Graveobiosid A ist bekannt, dass es gegen die Eiablage von Insekten wirkt: Es könnte langfristig als natürliches Biozid eingesetzt werden.

Um die Produktion der beiden Stoffe anzukurbeln, haben die Wissenschaftler die Pflanzen in Klimakammern ordentlich gestresst: mit Kochsalz in der Nährlösung, mit Kälte und UV-Licht, oder sie haben ihnen Nährstoffe entzogen. „Der Salzstress war am effektivsten. Durch die Kombination von Salzzugabe und anderen Stressfaktoren wie

## Die beliebtesten Gemüsesorten

Einkaufsmenge pro Haushalt 2018 (in Kilogramm)\*



\* Quelle: Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, \*\* Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

### TaReCa

Der Kurzname steht für das Verbundvorhaben „Tailoring of secondary metabolism in horticultural residuals and cascade utilization for a resource efficient production of valuable bioactive compounds“. TaReCa wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

Kälte ist es uns gelungen, den Cynarosidanteil in den Blättern zu verzehnfachen. Das war ein überraschender Erfolg!“, freut sich die Forscherin. Auch für das Graveobiosid A konnten die Forscher bei bestimmten Salzstresskombinationen eine dreifach erhöhte Konzentration messen: „Pro Gramm Trockengewicht erhalten wir etwa 20 mg Graveobiosid A, das ist eine gute Ausbeute.“

Nun arbeiten die Wissenschaftler daran, das Zusammenspiel aus optimaler Salzdosis, Behandlungsdauer und verschiedenen Stressfaktoren noch besser aufeinander abzustimmen, denn ein Zuviel bedeutet, dass die Pflanze abstirbt und Blätter abwirft, ein Zuwenig eine zu geringe Ausbeute. „Der Gemüsebauer benötigt außerdem eine Messmethode, um zu kontrollieren, wie der Stress wirkt“, so die Forscherin, „Wir setzen dazu nichtinvasive Methoden mit Fotos und Farbanalysen ein, denn die Blätterfarbe beispielsweise verändert sich mit dem Stress.“

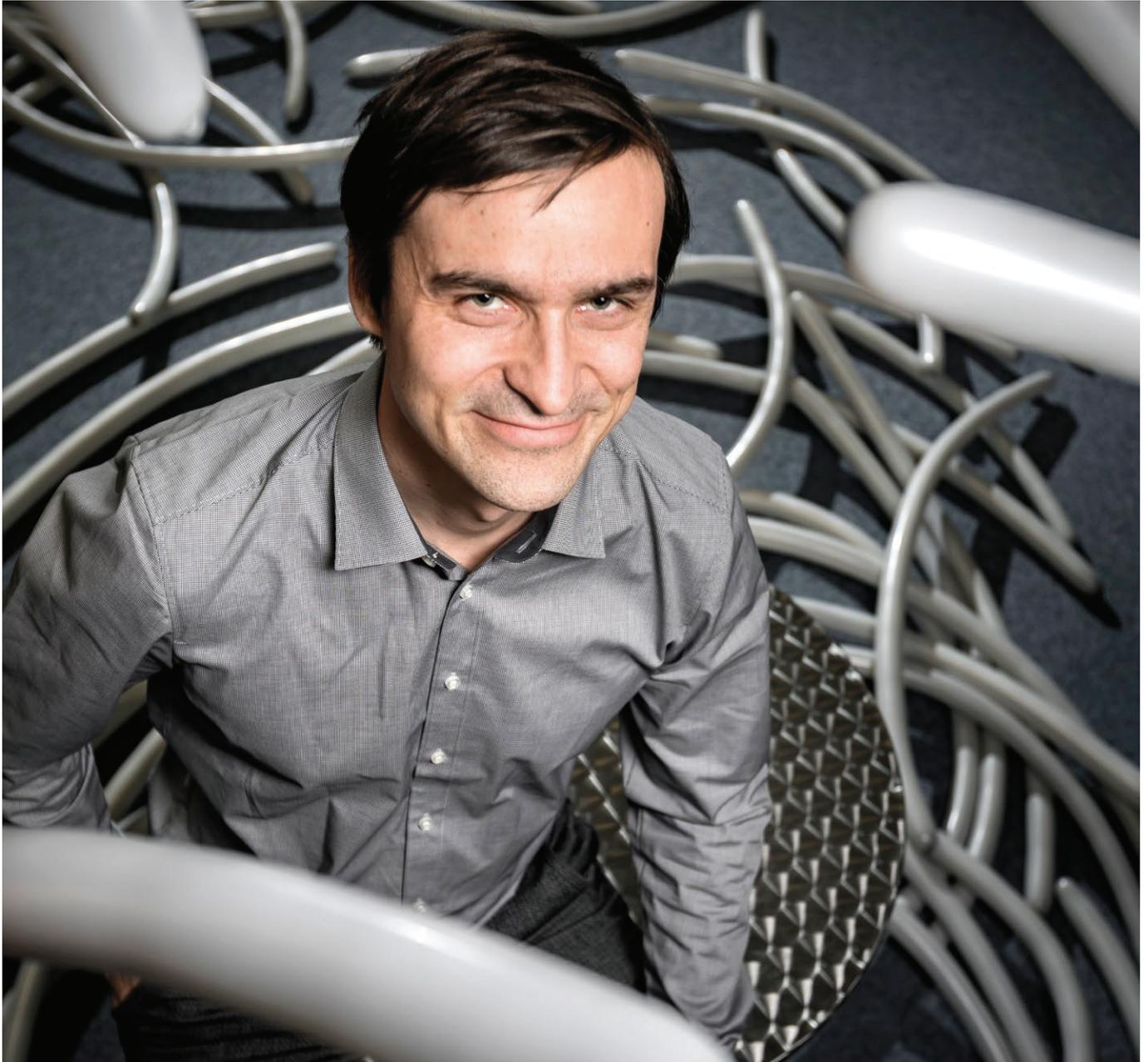
Von den Forschungsansätzen profitieren könnte vor allem der Gemüselandwirt: Er verkauft nicht nur die Früchte, sondern auch die Zusatzstoffe aus dem Rest der Pflanze. „Um das Marktpotenzial einzelner Inhaltsstoffe und möglicher Einsatzbereiche einzuschätzen, sind in dem Verbundprojekt TaReCa nicht nur Pflanzenforscher, Gartenbauer und Verfahrenstechniker aus dem BioSC an Bord,

sondern auch Ökonomen“, erklärt Wiese-Klinkenberg. Diese können zum Beispiel berechnen, ob der Landwirt die Blätter und Stängel selbst trocknen oder ein Großunternehmer sie abholen sollte: Der Trocknungsprozess würde die Transportkosten deutlich reduzieren, aber der Gemüselandwirt müsste in einen Trockenofen investieren.

### NICHT NUR PAPRIKA IM VISIER

Die Paprikaschoten im Salat, die Flavonoide extrahiert – übrig bleibt die voll ausgeschöpfte Paprikapflanze, die nicht mehr im Kompost, sondern in einer Bioraffinerie landet, wo sie in Plattform-Chemikalien für viele andere Industrieprodukte umgewandelt wird und damit endgültig ausgedient hat. Die Wertschöpfungskette wird so erweitert, ein wirtschaftlicher Mehrwert generiert und eine wertvolle Substanz ressourcenschonend produziert – ein Beispiel für gelungene Bioökonomie. Und nicht auf die Paprika beschränkt. „Langfristig wollen wir die neuen Verfahren und Technologien auf andere Gartenbaupflanzen anwenden“, so Wiese-Klinkenberg. Ihr nächster Favorit: die Salatgurke.

KATJA LÜERS



## **Woran forschen Sie gerade, Herr Sabass?**

**Dr. Benedikt Sabass, Nachwuchsgruppenleiter am Institute of Complex Systems,  
Bereich Theorie der Weichen Materie und Biophysik (ICS-2/IAS-2)**

„Ich betrachte die Bewegung von Zellen, etwa von stäbchenförmigen Bakterien: Wie kontrollieren sie ihre Kräfte, was steuert ihre Bewegung – einzeln und in der Gruppe – und wie reagiert die Zelle, wenn Kräfte auf sie wirken? In meinem Team suchen wir nach grundlegenden Prinzipien und entwickeln Algorithmen für die skalenübergreifende Beschreibung der zellulären Mechanik, vom Signalmolekül bis zur ganzen Zelle. Unsere Erkenntnisse helfen zu verstehen, wie Organismen wachsen, also wie sich bei der Zellteilung aus einzelnen Zellen geordnete Strukturen entwickeln oder Tumore ausbreiten.“

# Experten sind besser vernetzt

Schach ist für die Forscher um Robert Langner mehr als nur ein Spiel: Sie nutzen es in der Hirnforschung, um beispielhaft zu untersuchen, wie sich die Gehirne von Laien und Experten unterscheiden.

**D**ie erste Fahrstunde in dichtem Verkehr: An einer Kreuzung ohne Ampel stehen vier Autos, die in verschiedene Richtungen blinken, und ein Radfahrer. Was der Fahrlehrer mit einem Blick erfasst, treibt dem Fahrschüler den Schweiß auf die Stirn. Klarer Fall, der Fahrlehrer ist Experte in Sachen Straßenverkehr, der Schüler ungeübter Anfänger. Kann man das nur an der äußeren Reaktion erkennen? Hirnforschern reicht das nicht. Sie möchten wissen, wie sich unterschiedliche Erfahrung im Gehirn widerspiegelt. Um das herauszufinden, hilft ihnen ein uraltes, jedoch hochkomplexes Spiel: Schach.

Wieso sich ausgerechnet dieses Brettspiel für die Gehirnforschung eignet, verdeutlicht Dr. Robert Langner vom Jülicher Institut für Neurowissenschaften und Medizin (INM-7): „Schach beruht auf überschaubaren und klar definierten Regeln und hat eine begrenzte Anzahl von Figuren. Gleichzeitig ist das Spiel aber hochkomplex, wie das wahre Leben.“ Außerdem gibt es ein etabliertes und objektives mathematisches Verfahren, um die Expertise eines Schachspielers präzise zu bestimmen, die sogenannte Elo-Zahl. Sie macht es möglich, einen direkten Bezug zwischen Erfahrung und den Aktivitäten im Gehirn herzustellen. Der Blick ins Gehirn offenbart dann auch deutliche Unterschiede: Im Gegensatz zu Anfängern nut-

zen geübte Spieler nicht nur eine Hälfte des Gehirns, sondern beide. Eine bestimmte Schläfenregion auf der rechten Seite wird beispielsweise nur bei Experten aktiviert. „Wir konnten zeigen, dass diese Region effizient in andere Hirnnetzwerke eingebunden ist. So können relevante Informationen über die Spielsituation und die Handlungsmöglichkeiten einzelner Objekte schnell und umfassend verarbeitet und bewertet werden“, sagt Langner.

## MIT EINEM BLICK MUSTER ERKENNEN

Wie effektiv diese Verschaltung im Gehirn geübter Spieler sein muss, zeigt sich beim Blitzschach. In Bruchteilen von Sekunden erfassen sie die Situation auf dem Feld und führen einen sinnvollen Zug aus. Vergleicht man dabei die Augenbewegungen von Experten und Anfängern, wird ein weiterer Unterschied klar: Schachexperten fixieren nur einzelne, strategisch wichtige Figuren. Durch jahrelanges Üben und das Nachspielen von Partien erkennen sie spielspezifische Muster und räumliche Zusammenhänge auf dem Brett und wissen quasi „instinktiv“, wo sie hinschauen müssen, um eine Situation zu lösen. Bei Schachnovizen schweift der Blick über eine Vielzahl von Figuren, auch jene, die mit dem nächsten Zug nichts zu tun haben. In Aufnahmen mithilfe der funktionellen Kernspintomografie zeigte sich, dass im Gehirn der geübten

## Übung macht den Meister

Ist das Gehirn auf das Wiedererkennen von Mustern trainiert, verstellt das mitunter auch bei ausgewiesenen Fachleuten den Blick auf Neues. In einem Schachrätsel für Fortgeschrittene stellte der Psychologe Prof. Merim Bilalić, selbst Schachmeister, die Figuren so, dass sich ein Schachmatt mit einer geläufigen 5-Zug-Strategie erreichen ließ. Ein Schachmatt wäre in der gleichen Situation aber genauso gut mit einer weithin unbe-

kannten Lösung in nur drei Zügen möglich. Erfassten die Augen der Schachspieler das bekannte Muster zur 5-Zug-Lösung, konzentrierten sie sich auf diese und waren buchstäblich blind für die schnellere Variante.

Wissenschaftler sprechen hier vom „Einstellungseffekt“, der auch die Urteilsfähigkeit von anderen Spezialisten wie zum Beispiel Juristen, Ärzten oder Personal-

fachleuten einschränken kann. So zeigen Studien, dass Radiologen sich oftmals auf die erste Unregelmäßigkeit konzentrieren, die ihnen ins Auge fällt. Dabei können andere Zeichen einer Erkrankung übersehen werden – wie zum Beispiel Schwellungen, die unter Umständen auf einen Tumor hinweisen. Im Schachexperiment waren erst Großmeister – also Experten mit enormer Erfahrung – in der Lage, den kürzeren 3-Zug-Weg zum Schachmatt zu erkennen.

Schachspieler Bereiche für das Erkennen von Objekten und auch für räumliche Zusammenhänge stärker aktiviert werden als bei Novizen. „Gezielte Wahrnehmung spielt auch bei ganz alltäglichen Situationen eine große Rolle“, so der Psychologe, „der erfahrene Autofahrer erkennt etwa das Stoppschild und weiß ohne langes Nachdenken, dass der von links oder rechts kommende Wagen jetzt Vorfahrt hat.“ Der Blick wird dabei sowohl bei geübten Schachspielern wie auch bei erfahrenen Verkehrsteilnehmern durch bestimmte Muster und räumliche Regelmäßigkeiten gesteuert. „Wäre das Stoppschild an einer völlig unerwarteten Stelle positioniert, würde es mit großer Wahrscheinlichkeit übersehen“, sagt Langner.

### WENN ROUTINE NICHT AUSREICHT

Auch Schachexperten lassen sich verwirren. Experimente, die Langners Kollege Prof. Merim Bilalić an der Universität Tübingen durchführte, zeigten: Sind die Figuren ohne Konzept auf dem Spielfeld verteilt, irren die Blicke der Experten ebenso über die zufällige Anordnung wie die der Novizen. Ähnlich ergeht es selbst dem routiniertesten europäischen Autofahrer, der sich im Chaos einer indischen Verkehrskreuzung wiederfindet. „Wobei ‚Chaos‘ relativ ist“, wirft Langner ein. „Denn chaotisch ist die Situation ja nur für diejenigen, der die lokalen Regeln nicht kennt.“

Die Beobachtung von Schachspielern könnte auch helfen zu verstehen, wie das Gehirn bei anderen Herausforderungen arbeitet. „Denn im Schach sind ja nicht nur das reine Erfassen der aktuellen Spielsituation und das Planen der nächsten Züge wichtig, ebenso entscheidend ist das Hineinversetzen in den gegnerischen Spieler“, so der Jülicher Wissenschaftler. Ihn und seine Kollegen interessiert zum Beispiel, ob sich Schach für neurowissenschaftliche Studien zu sozialen Phänomenen eignet, wie die Interaktion mit anderen Menschen oder das Erkennen von Absichten eines Gegenübers. „Schach in diesem Kontext zu nutzen, ist unseres Wissens komplettes Neuland“, sagt Langner.

BRIGITTE STAHL-BUSSE

← Wenige Figuren, klare Regeln, dennoch ist Schach hochkomplex. Laien spielen deutlich schlechter als Experten. Ideal für Hirnforscher Robert Langner, um herausfinden, wie sich unterschiedliche Erfahrung im Gehirn widerspiegelt.



Ein wichtiger Teil von PASCAL war die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit. Ein Stipendium ermöglichte es der jungen kenianischen Journalistin Sophie Mbugua, im Sommer 2018 in Jülich zu recherchieren und vor Ort über Herbstschule und Hackathon zu berichten. Mit dem Blog „A Bridge to Africa“ und in den sozialen Medien begleiteten Teilnehmer das Projekt von Anfang an.



# Eine Brücke nach Afrika

Das Klima ändert sich, die Bevölkerung wächst, Afrika steht vor großen Herausforderungen. Wissenschaftlicher Austausch kann helfen: Das Projekt PASCAL soll die Menschen dort unterstützen, langfristig ihre Ernährung zu sichern. Bisheriger Höhepunkt war eine Projektwoche mit einer Herbstschule in Accra.

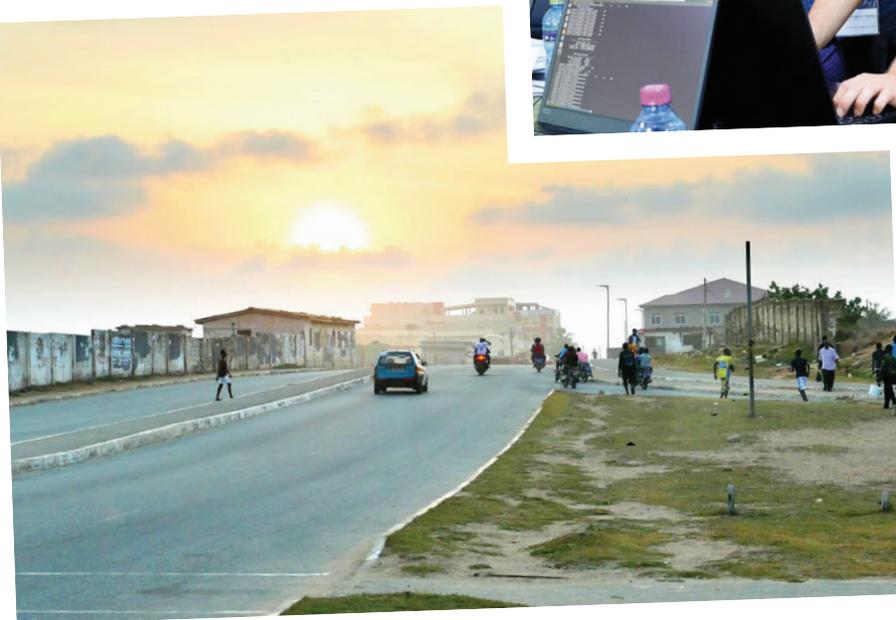
## Preis für PASCAL

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) verlieh PASCAL Ende 2017 einen Hauptpreis in der Kategorie „Forschungsmarketing“. Der größte Teil des Preisgelds von 100.000 Euro floss in die Projektwoche in Accra Ende des Jahres 2018.

Accra, Ghana, ein Morgen mit 30 Grad Celsius Außentemperatur und 80 Prozent Luftfeuchtigkeit: In den umliegenden Gärten gießen Anwohner ihr Gemüse und lockern den Boden, bevor die schwüle Mittagshitze sie später alle in den Schatten oder die Häuser zwingt. Im klimatisierten Gebäude von WASCAL, dem Kompetenzzentrum für Klimawandel und nachhaltiges Landmanagement, läuft die „Bodenarbeit“ mittels Daten: Über eine Phalanx von Laptops gebeugt, simulieren 30 junge afrikanische Wissenschaftlerinnen

und Wissenschaftler mit Computermodellen das System Boden-Wasser-Luft auf Supercomputerniveau. Das Training in der ghanaischen Hauptstadt ist Höhepunkt des Projekts „The Pan-African Soil Challenge“, kurz PASCAL.

„Hinter PASCAL steckt die Idee, eine Wissensschäftsbrücke zwischen dem Forschungszentrum und Partnern in Afrika zu bauen“, sagt Dr. Daniel Felten vom Jülicher Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3), der das Projekt koordiniert.



Ziel sei es, Afrika angesichts von Bevölkerungsexplosion und Klimawandel beim Aufbau einer sicheren und nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion zu unterstützen. „Bis 2050 soll sich die Bevölkerungszahl Afrikas auf 2,5 Milliarden Menschen verdoppeln. Sie nachhaltig zu ernähren, wird eine große Herausforderung“, so Felten. Jülichs Expertise in der Bodenkunde sowie im Höchstleistungsrechnen könnte hierbei nützen, um auf dieser Basis zum Beispiel den Ertrag von Äckern zu steigern.

Mit im Boot ist dabei auch der Geoverbund ABC/J, das geowissenschaftliche Netzwerk von RWTH Aachen, den Universitäten Bonn und Köln sowie dem Forschungszentrum Jülich. Felten: „Wichtig ist uns, dass die Teilnehmer das neugewonnene Wissen weitergeben und sie damit zu Multiplikatoren werden.“

Insgesamt 173 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 23 afrikanischen Ländern hatten sich beworben, an der Herbstschule und einem sogenannten Hackathon – einem Workshop, bei dem gemeinsam daran gearbeitet wird, eine Software weiterzuentwickeln und zu verbessern – teilzunehmen. „Rund 30 Bewerbern konnten wir jeweils einen Platz für eines oder beide Trainings anbieten“, erläutert Felten.

Ihr Engagement für Afrika führen die Jülicher Agrosphärenforschung und der Geoverbund ABC/J fort. Bei einem „Afrika-Tag“ an der Uni Bonn in der zweiten Jahreshälfte 2019 wollen die beiden Partner Projekte aus der Forschung zum System Erde vorstellen. Auch eine weitere Ferienschule in Afrika ist im Gespräch. Die Brücke wird tragfähiger.

ERHARD ZEISS



Mehr Bilder vom Workshop in Accra finden Sie in unserem Webmagazin.

Blog „A Bridge to Africa“ mit persönlichen Eindrücken und Interviews mit den Teilnehmern: [blogs.fz-juelich.de/bridgetoafrica](https://blogs.fz-juelich.de/bridgetoafrica)

**„This program is a good solution to help African universities improve more quickly. If the program can take place more than one time a year and cover many other fields, it will be quite great.“**

FRANCIS OUSSOU AUS BENIN,  
TEILNEHMER AN DER PASCAL-HERBSTSCHULE IN GHANA

# Bitte anfassen!

Fühlen auf dem Smartphone? Der Touchscreen der Zukunft soll das möglich machen. Der Physiker Bo Persson hat die physikalischen Grundlagen dazu in ein Computermodell gepackt.

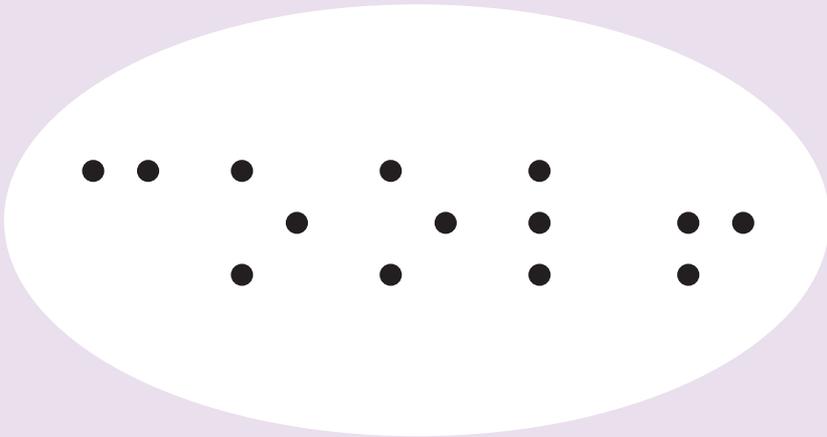
Stellen Sie sich vor, Sie könnten beim Online-Einkauf auf Ihrem Smartphone ein Sofa nicht nur sehen, sondern auch den Stoffbezug fühlen. Oder ein Blinder kann einen Text in Blindenschrift auf seinem Touchscreen ertasten. Unternehmen arbeiten daran, solche haptischen Displays serienreif zu machen.

Aber wie kann ein glattes Display plötzlich eine Struktur wie die Blindenschrift fühlbar machen? Mit einem Trick: Den Nervenzellen an unserem Finger wird vorgetäuscht, dass sich die Oberfläche verändert. Der Jülicher Physiker Bo Persson hat sich intensiv mit den physikalischen Grundlagen beschäftigt: Wesentlich sind die Reibungskräfte, die beim Gleiten des Fingers über das Display wirken. Nervenzellen im Finger nehmen winzige Unterschiede in diesen Kräften wie Unebenheiten wahr. Persson hat ein Computermodell entwickelt, das diese Kräfte berechnen kann – die Basis, um zu verstehen, wie sich der Tastsinn beeinflussen lässt. Das Modell sagt beispielsweise voraus, wie sich Reibung und damit das Tastgefühl verändern, wenn etwa der Finger feucht ist oder besonders druckvoll über das Display streicht. „Entscheidend ist zu berücksichtigen, dass die Fingerkuppe nicht glatt ist. Das bedeutet, dass man den Kontakt zwischen Kuppe und Display auf den verschiedensten Längenskalen berücksichtigen muss, vom Nanometer bis zum Millimeter“, sagt Persson.

Dass Perssons Modell die Interaktion zwischen Finger und Display richtig beschreibt, haben seine Kooperationspartner aus der Türkei nachgewiesen: Deren experimentell gemessene Werte stimmen gut mit den Vorhersagen des Jülicher Physikers überein.

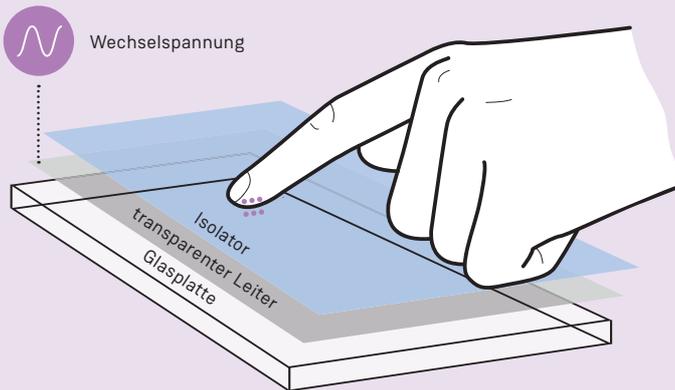
FRANK FRICK





↑ Bo Persson hat sich auf die physikalischen Grundlagen von Reibung spezialisiert. Reibung spielt auch bei Touchscreens eine wichtige Rolle.

Bild 1



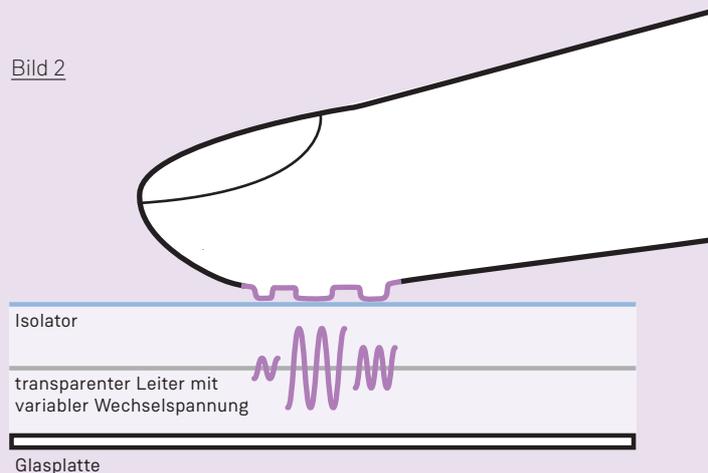
## So funktioniert der Tastscreen

Ein haptisches Display besteht aus drei Schichten: Auf einer Glasplatte liegt ein elektrischer Leiter und darüber ein elektrisch isolierendes Material. Der Finger berührt nur die oberste Schicht, den Isolator. Legt man eine elektrische Spannung an die leitende Schicht, sammeln sich am Isolator und am Finger elektrische Ladungen mit entgegengesetztem Vorzeichen (Bild 1). Die Folge: Das Display zieht den Finger elektrostatisch an. Je größer die Spannung ist, desto stärker wird der Finger ans Display gepresst – und umso mehr vergrößert sich die Gleitreibung. Über unterschiedlich hohe Spannungen an verschiedenen Stellen im Display können dem Tastsinn so unterschiedliche Oberflächenstrukturen vorgegaukelt werden.

In allen Fällen ist allerdings ein Trick erforderlich, damit die elektrostatische Anziehung lange genug erhalten bleibt, um sie zu spüren. Bild 1 zeigt daher eine Momentaufnahme. Denn die elektrischen Ladungen von der Fingerkuppe wandern auf die Displayoberfläche und verringern so die Anziehung. Um das zu verhindern, wird die Spannung der leitenden Schicht rund 100 Mal pro Sekunde umgepolt. Das ist so schnell, dass unser Tastsinn diese Umpolung nicht wahrnimmt. Er registriert nur die durchschnittliche Stärke der Spannung.

Gleichzeitig muss eine elektronische Schaltung erfassen, an welcher Stelle der Finger gerade über die Oberfläche gleitet – eine Technik, die auch beim herkömmlichen Smartphone-Display eingesetzt wird. Die Steuerungselektronik variiert dann gezielt an den entsprechenden Stellen die Stärke der Spannung (Bild 2) und simuliert so die gewünschte Oberfläche – vom Sofabezug bis hin zum Text in Blindenschrift.

Bild 2





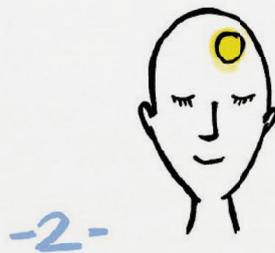
# PET

## WAS IST DAS?

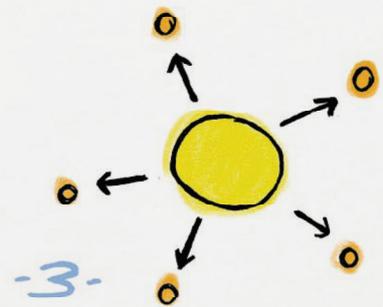
Die Positronenemissionstomografie (PET) ist eine medizinische Untersuchungsmethode. Sie macht Stoffwechselprozesse im Körper sichtbar und liefert so Hinweise auf Tumore oder Entzündungen.



Patienten wird eine schwach radioaktive Substanz gespritzt, der Tracer. Meist ist das Traubenzucker, der radioaktives Fluor enthält.



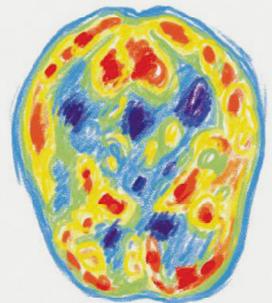
An Orten mit hoher Stoffwechselaktivität wie Tumoren und Entzündungen wird viel Zucker verbraucht. Dort reichert sich der Tracer an.



Das radioaktive Fluor im Tracer zerfällt. Dabei entstehen Photonen, die ein Detektor erfasst. Daraus lässt sich exakt berechnen, wo wie viel Tracer angereichert ist.

## TYPISCH

So sieht eine PET-Aufnahme des Gehirns aus. Standard PET-Geräte messen mit einer Genauigkeit von etwa 4 Millimetern. Genauere Ergebnisse liefert die Kombination mit der Computertomografie (CT), einer Röntgentechnik.



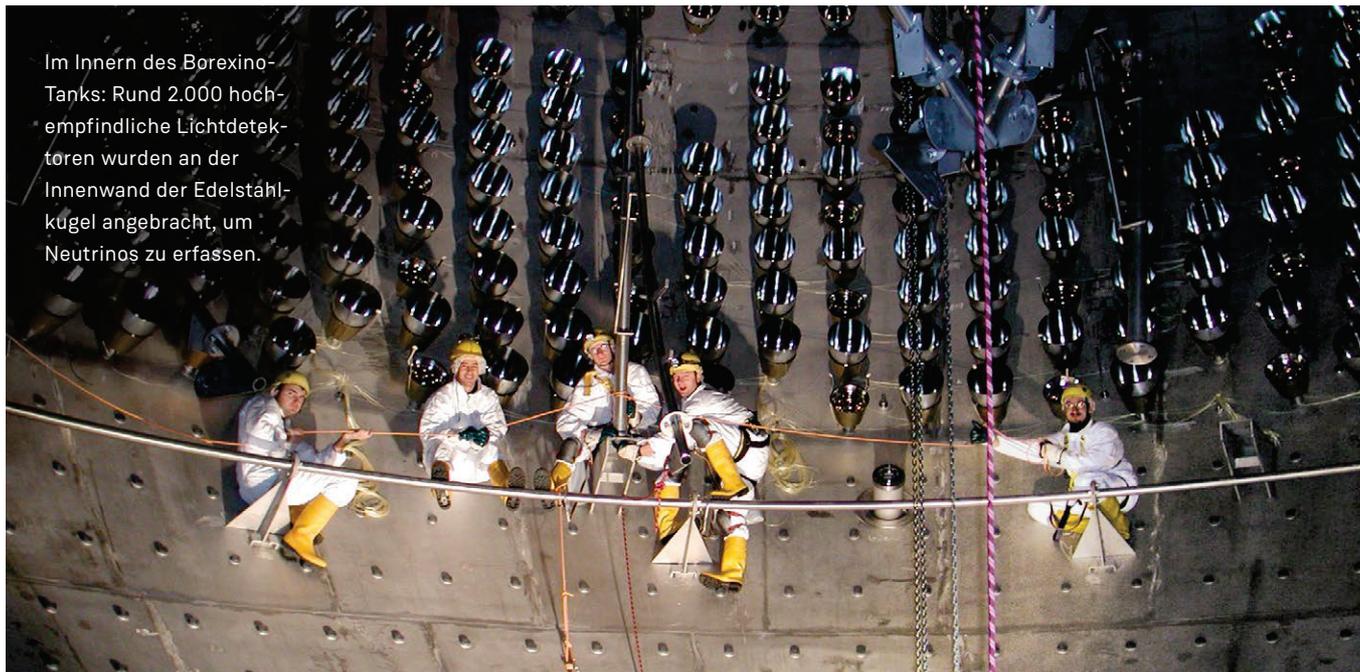
Stoffwechselaktivität korreliert mit der Farbigkeit

# 1.400

Euro kann eine PET-CT-Untersuchung aktuell kosten.

## WAS MACHT JÜLICH MIT PET?

- Gründlegende Funktionen des Gehirns verstehen, etwa den Schlafprozess
- Erkennung von Hirntumoren verbessern
- Krankheiten wie Schizophrenie untersuchen
  - Entwicklung neuer Tracer
- Technische Weiterentwicklung der PET



Im Innern des Borexino-Tanks: Rund 2.000 hochempfindliche Lichtdetektoren wurden an der Innenwand der Edelstahlkugel angebracht, um Neutrinos zu erfassen.

# Sonnenteleskop unter Tage

Tief unter der Erde das Innere der Sonne erkunden? Klingt paradox. Doch genau das machen Wissenschaftler seit 2007 in einem unterirdischen Labor im Gran-Sasso-Gebirgsmassiv unweit von Rom: Im Borexino-Experiment beobachten sie dazu seltene Lichtblitze mit einem einzigartigen Detektor. Die Messdaten liefern neue Erkenntnisse über die Reaktionen, die unsere Sonne antreiben.

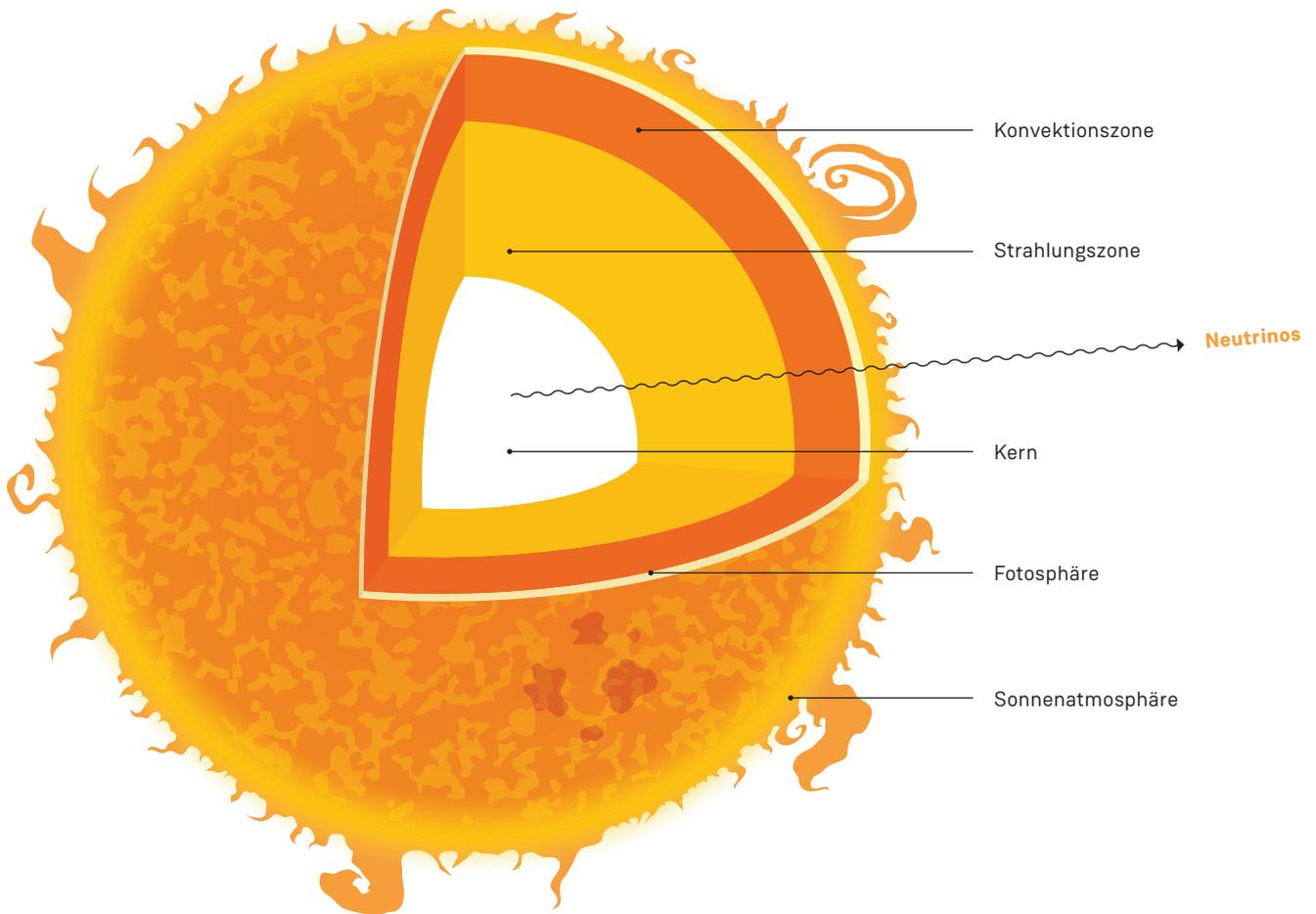
Es blitzt hell, wenn ein Neutrino mit der Spezialflüssigkeit im Innern des Detektors in Wechselwirkung tritt. „Neutrinos, elektrisch neutrale und extrem leichte Elementarteilchen, entstehen beispielsweise bei Reaktionen im Kern der Sonne“, erklärt die Jülicher Physikerin Prof. Livia Ludhova, eine der beiden wissenschaftlichen Koordinatoren von Borexino. Milliarden der solaren Neutrinos fliegen pro Sekunde durch jeden Quadratzentimeter auf der Erde – auch durch unseren Körper –, doch die Teilchen lassen sich kaum nachweisen. Das liegt einerseits an ihrer schwachen Wechselwirkung mit Materie. Reaktionen, die zu Lichtblitzen führen, sind außerordentlich rar. Um keinen der seltenen Blitze zu verpassen, sind rund 2.000 hochempfindliche Lichtsensoren um den Borexino-Tank angeordnet, der mit 280 Tonnen einer Spezialflüssigkeit, dem Szintillator, gefüllt ist.

Andererseits könnten Reaktionen anderer Partikel die Messung stören: Die natürliche Radioaktivität gewöhnlicher

Materialien würde milliardenmal mehr Blitze verursachen als die solaren Neutrinos. Daher musste der Borexino-Detektor aus strahlungsarmen Materialien gebaut werden. Der Szintillator selbst besteht aus der strahlungsärmsten Flüssigkeit, die bisher erzeugt wurde. Auch die sogenannte kosmische Strahlung, die fortwährend aus dem Weltall auf die Erde prasselt, würde weit mehr Lichtblitze erzeugen als die Neutrinos. Doch das Gebirgsmassiv mit seinen 1.400 Metern Gestein über der Messkammer schirmt diese Teilchen fast komplett ab – nur die Neutrinos können den Fels ungehindert passieren.

## NEUE MESSUNGEN

Neutrinos sind die perfekten Boten und der einzige direkte Nachweis für die Vorgänge im Innern der Sonne: also die Kernfusionsreaktionen, die unser Zentralgestirn leuchten lassen und somit eine wesentliche Voraussetzung für das Leben auf der Erde sind. Tief im Sonneninnern verschmelzen Wasserstoffatomkerne auf verschiedenen Reaktionswegen zu Helium



### Neutrino-Schleuder

Die Sonne ist ein gigantischer Feuerball aus heißen Gasen und Geburtsort von Neutrinos. Sie hat einen Durchmesser von knapp 1,4 Millionen Kilometern, das entspricht etwa dem Hundertfachen der Erde (12.700 Kilometer). Im Kern der Sonne herrschen Temperaturen von rund 15 Millionen Grad Celsius. Durch Fusionsreaktionen im Kern entsteht Energie – und Unmengen Neutrinos, elektrisch neutrale Elementarteilchen mit sehr geringer Masse. Während sich Licht und Wärme mühsam ihren Weg durch die verschiedenen Schichten der Sonne bahnen, können Neutrinos sie fast ungehindert durchqueren. Das liegt daran, dass Neutrinos so gut wie gar nicht mit anderer Materie wechselwirken. Haben die Neutrinos die Sonne verlassen, rasen sie nahezu mit Lichtgeschwindigkeit durchs Weltall.

und erzeugen dabei nicht nur Sonnenenergie, sondern auch Neutrinos. „Wir haben nun die neuesten Daten von 2012 bis 2016 ausgewertet, der sogenannten Phase 2 des Borexino-Experiments. In dieser Phase haben wir die radioaktive Strahlung des flüssigen Szintillators weiter verringert und erstmals das gesamte Energiespektrum der solaren Neutrinos beobachtet. Unsere Ergebnisse liefern neue und präzisere Informationen über verschiedene Vorgänge im Sonneninneren“, so Ludhova.

Erstmals ist es den Forschern gelungen, Neutrinos aus vier verschiedenen Zweigen der sogenannten pp-Fusionskette in einer einzigen Messung zu beobachten. Dazu zählen auch Neutrinos aus der sogenannten pep-Reaktion, die nun eindeutig nachgewiesen wurden. Die Ergebnisse bestätigen das allgemeine Verständnis der Wissenschaftler von der Energieerzeugung in der Sonne. „Die Daten in bisher unerreichter Genauigkeit sind von unschätzbarem Wert für uns, um die sogenannten Standard-Sonnenmodelle weiter zu präzisieren, also unser Wissen über die chemische Zusammensetzung der Sonne“, berichtet die Jülicher Expertin.

### SEIT JAHRTAUSENDEN IM GLEICHGEWICHT

Und noch eine Entdeckung verbarg sich in den Daten: „Wir können aus den Neutrinos, die auf die Erde gelangen, die aktuelle Energieproduktion im Innern der Sonne ablesen – mit nur acht Minuten Verzögerung.“ So lange brauchen die Neutrinos, die annähernd mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs sind, um von der Sonne zur Erde zu gelangen. Das Licht und die Wärme der Sonne benötigen dagegen etwa 100.000 Jahre, um vom Kern bis an die Oberfläche des Plasmaballs und von dort zur Erde zu gelangen. Der Vergleich der Informationen aus den Neutrinos mit den Daten aus Licht und Wärme ergab: Die Energieproduktion hat sich in diesem Zeitraum nicht verändert. Ludhova: „Die Sonne befindet sich also seit mindestens 100.000 Jahren im Gleichgewicht.“ Dass sich die Energieproduktion der Sonne gefährlich ändert oder die Sonne gar „verbraucht“ ist, muss die Menschheit in den nächsten Jahrtausenden also definitiv nicht befürchten.

JENS KUBE



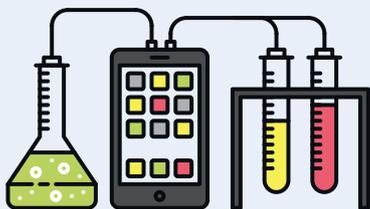
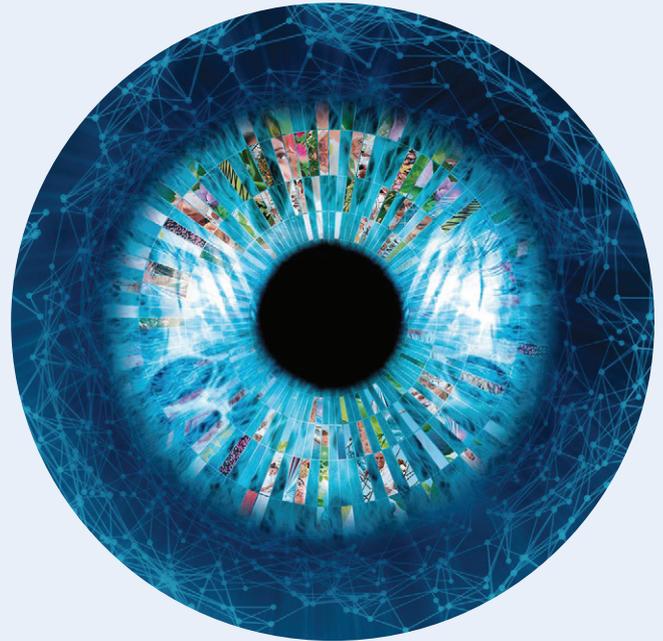
# GEFÄLLT UNS

CISPA-RAP

## Helmholtz-Zentrum stellt sich vor

Wer neu ist, darf auch neue Wege gehen. Dachte sich anscheinend das Helmholtz-Zentrum für Informationssicherheit (CISPA), das Anfang 2019 gegründet wurde. Auf Facebook veröffentlichten die Experten für Cybersicherheit ein Musikvideo, in dem der Künstler EstA das Saarbrückener Zentrum in einem Rap vorstellt. Die erste Forschungseinrichtung mit einem Rap war CISPA damit aber nicht: Bereits seit 2008 gibt es auf YouTube den Large Hadron Rap der Großforschungseinrichtung CERN in der Schweiz, bei dem die Wissenschaftler sogar selbst zum Mikrophon griffen.

- [WWW.FACEBOOK.COM/CISPASAARLAND](http://WWW.FACEBOOK.COM/CISPASAARLAND) -  
- YOUTUBE, STICHWORT: LARGE HADRON RAP -



SO KLAPPT'S

## Wissenschaftler auf Twitter

Sich über Social Media zu vernetzen, lohnt sich auch für Wissenschaftler. Praktische Hinweise, wie Forscher Twitter, Facebook und Co. für sich nutzen können, gibt der Artikel „How to use Twitter to further your research career“, der auf nature.com erschienen ist. Twitter etwa sei eine gute Möglichkeit, neue Veröffentlichungen oder Veränderungen im Team direkt in die Community zu tragen, so der Autor Jet-Sing M. Lee. Der Kurznachrichtendienst bietet zudem die Möglichkeit, Forscher direkt zu kontaktieren, und dient Laien somit als „Eingangstür“ in die Wissenschaft.

- [WWW.NATURE.COM/ARTICLES/D41586-019-00535-W](http://WWW.NATURE.COM/ARTICLES/D41586-019-00535-W) -

REISE IN DIE ZUKUNFT

## Wir laden ein zum Tag der Neugier

Bis zu 20.000 Besucher erwarten wir bei unserem „Tag der Neugier“ am 7. Juli 2019 im Forschungszentrum. Das Thema: Reise in die Zukunft. Eingeladen sind alle, die sich für Wissenschaft begeistern. Wohin die Fahrt geht, zeigen Forscher in ihren Laboren auf dem Jülicher Campus: etwa, indem sie Experimente und Großgeräte vorstellen, mit denen sie in die Welt von morgen blicken. Auch Mitmachen ist gefragt: In einer Campusrallye werden Kinder und Jugendliche selbst zu kleinen Forschern.

Der Eintritt ist frei.

- [WWW.TAGDERNEUGIER.DE](http://WWW.TAGDERNEUGIER.DE) -  
- #TAGDERNEUGIER -

# FORSCHUNG IN EINEM TWEET

#Stickoxide in Städten sorgen regelmäßig für Schlagzeilen. Wie hoch die Belastung vor der eigenen Tür ist, zeigt der Jülicher Stickoxid-Rechner.



## Dr. Martin Schultz

hat das Web-Tool mit Kollegen vom Jülich Supercomputing Centre und dem Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-8) entwickelt. Es nutzt offizielle Daten des Umweltbundesamts und zeigt die NO<sub>2</sub>-Konzentration im Jahresmittel für jede Messstelle in Deutschland. Ist der Wert zu hoch, ermittelt der Rechner die nötige Reduktion von Straßenverkehrsemissionen, um den Grenzwert einzuhalten.

[stickoxid-rechner.de](http://stickoxid-rechner.de)