

# Wissenschaft

## Mit Tests lernt man besser als mit Pauken

Häufiges Abfragen trainiert das Langzeitgedächtnis

Vokabeln werden im Langzeitgedächtnis durch wiederholtes Abfragen besser gespeichert als durch Auswendiglernen. Das stellen Jeffrey Karpicke von der Purdue University in West Lafayette und Henry Roediger von der Washington University in St. Louis bei einer Studie mit 40 Studenten fest. Sie berichten jetzt darüber im Fachblatt Science.

Die Studenten hatten die Aufgabe, je 40 suaheli-englische Wortpaare zu lernen. Die Probanden, die die Wörter einmal gelernt hatten und dann wiederholt abgefragt wurden, schnitten hinterher am besten ab. Ein mehrmaliges Lernen der Vokabelliste ohne Tests ergab hingegen deutlich schlechtere Ergebnisse.

Karpicke und Roediger teilten die Testpersonen nach dem ersten Lernen der 40 Suaheliwörter in vier Gruppen auf: Die Mitglieder der ersten Gruppe lernten über den gesamten Zeitraum der Untersuchung die Wortliste und wurden auch regelmäßig abgefragt. In der zweiten Gruppe wurde ein einmal korrekt wiedergegebenes Wort von der zu lernenden Liste gestrichen, in den Tests aber weiterhin abgefragt. In der dritten Gruppe wurden alle richtig aufgesagten Vokabeln aus den Tests, nicht aber von der Liste gestrichen. Die vierte Gruppe sollte schließlich die normalen Schulbedingungen widerspiegeln: Einmal korrekt vorgetragene Wörter wurden nicht weiter gelernt oder getestet. Nach dieser Phase warteten die Forscher eine Woche und fragten in einem letzten Test die gesamte Liste nochmals ab.

Das Ergebnis erstaunte die Psychologen: Gruppen drei und vier, die über den Versuchszeitraum konstant gelernt hatten, erinnerten sich an durchschnittlich 33 bis 36 Prozent der Wortpaare, wobei die Teilnehmer der Schulbedingungsgruppe am schlechtesten abschnitten. Die Probanden, die wiederholt Tests abgelegt hatten, konnten dagegen meist 80 Prozent der Wörter oder mehr korrekt wiedergeben. Dabei schnitten diejenigen, die nur abgefragt wurden, ohne die Wörter nochmals zu lernen, ebenso gut ab wie die weiterhin Lernenden. Karpicke und Roediger schließen daraus, dass der Test von Gelerntem selbst die beste Lernmethode ist. (ddp) Science, Bd. 319, S. 966

## NACHRICHTEN

### Üppige Kraftstoffreserven auf dem Titan

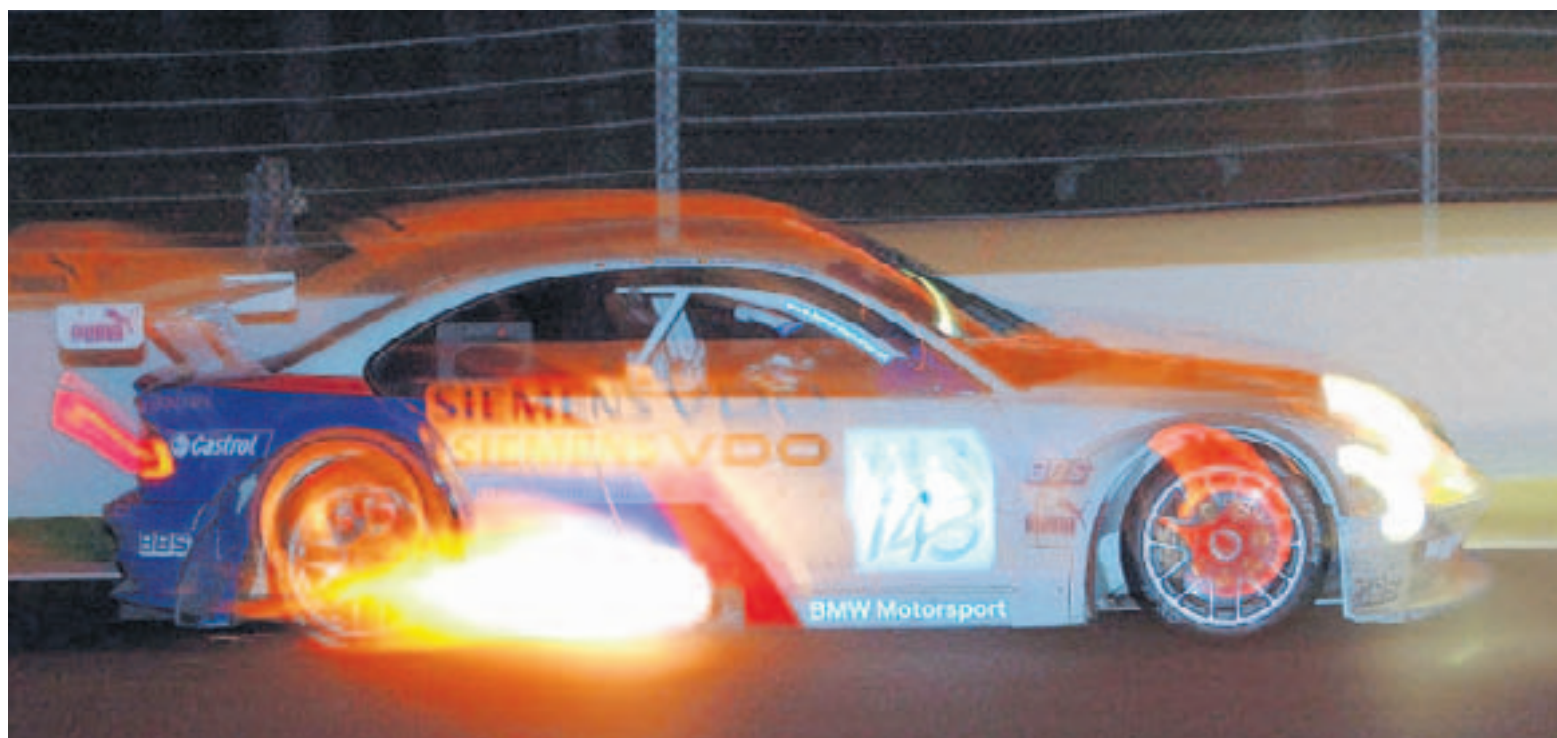
PASADENA. Die Oberfläche des Saturnmondes Titan bietet hundertmal mehr flüssige Kraftstoffe als alle Öl- und Gasreserven der Erde zusammen. Das hätten Radarmessungen der Raumsonde Cassini ergeben, teilten Astrophysiker des Jet Propulsion Laboratory der US-Raumfahrtbehörde Nasa gestern mit. Die Forscher um Ralph Lorenz vermuten, dass vor langer Zeit Kohlenwasserstoffe wie Methan und Ethan aus der minus 179 Grad Celsius kalten Atmosphäre des Titans auf dessen Oberfläche regneten und dort große Seen formten. (dpa)

### Dicke Menschen leben mit einem höheren Krebsrisiko

LONDON. Übergewicht kann das Risiko, an Krebs zu erkranken, deutlich erhöhen. Das folgern Ärzte um Andrew Renehan von der University of Manchester aus der Analyse von 141 Studien mit Daten von rund 282.000 Tumorkranken. Dabei zeigte sich zum Beispiel, dass die Gefahr an Speiseröhrenkrebs zu erkranken um rund die Hälfte steigt, wenn sich der Body-Mass-Index (BMI) um fünf Punkte erhöht. Fünf BMI-Punkte entsprechen beispielsweise bei einem 1,70 Meter großen Menschen gut 14 Kilogramm Gewicht. Beim gleichen BMI-Anstieg nimmt die Gefahr von Schilddrüsenkrebs bei Männern um ein Drittel zu; bei Frauen steigt das Risiko für Gebärmutter- und Gallenblasenkrebs um mehr als die Hälfte. (dpa) Lancet, Bd. 371, S. 569

## Strom aus dem Auspuff

Thermo-Generatoren sollen Wärme aus Autoabgasen direkt in Strom umwandeln



Bei Rennwagen sind Flammen aus dem heißen Auspuff normal. Für gewöhnliche Autos gibt es Pläne, die Hitze des Abgases sinnvoll zu nutzen.

VON CHRISTIAN MEIER

Ein Auto würde keine schlechte Heizung abgeben. Denn zwei Drittel der im Kraftstoff enthaltenen Energie verwandelt es in Wärme, die allerdings ungenutzt in die Umwelt entschwindet. Nun wollen Forscher mit einer Technik, die ursprünglich für die Raumfahrt entwickelt wurde, einen Teil der Abwärme direkt in Strom für die Bordelektronik umformen. „So ließen sich bis zu zehn Prozent Sprit einsparen“, sagt Eckhard Müller vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln. Denn Motorsteuerung, Stabilitätskontrolle und andere elektronische Komponenten eines Autos brauchen viel Strom: Die Bordelektronik eines Fünfer-BMW zum Beispiel benötigt durchschnittlich 800 Watt elektrische Leistung. Bislang erhalten die Geräte ihre Energie von der Lichtmaschine, die wiederum vom Motor angetrieben wird. Ließe sie sich durch eine vom Motor unabhängige Stromquelle entlasten, würde das Auto weniger Treibstoff verbrauchen.

Eine Hilfe für die Lichtmaschine könnte die Stromquelle von Raumsonden sein, die auf Missionen zu den äußeren Planeten unseres Sonnensystems sind. Auf deren Reise, Milliarden Kilometer vom Zentralgestirn entfernt, gibt es aber nicht genug Sonnenlicht für Solarzellen. Deshalb haben die Sonden sogenannte thermoelektrische Generatoren an Bord, die Wärme direkt in Strom umwandeln. Sie nutzen einen Effekt, der nach dem Physiker Thomas Seebeck benannt ist: Ein Temperaturunterschied zwischen den zwei Enden eines elektrischen Leiters oder Halbleiters verursacht eine elektrische Spannung. Die Minikraftwerke der Raumflieger nutzen das Temperaturgefälle zwischen einer radioaktiven

Hitzequelle und der Kälte des Alls.

Auch Autoabgas, das etwa die Hälfte der Abwärme eines Wagens mit sich trägt, ist eine starke Hitzequelle. Schon nach wenigen Minuten Fahrt hat es mehr als 500 Grad Celsius. Den Prototypen eines Thermo-Generators für Kraftfahrzeuge haben DLR-Forscher vom Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart entwickelt. Auf dem Heißgasprüfstand lieferte er eine elektrische Leistung von 200 Watt. Das ist noch wenig verglichen mit dem Strombedarf eines Mittelklassewagens. „Denn der Halbleiter Wismut-Tellurid, den wir für den Prototypen genutzt haben, wandelt nur drei Prozent der Wärme in elektrische Energie um“, sagt der DLR-Ingenieur Tobias Weider.

Trotz der bislang bescheidenen Wirkungsgrade ist die Technologie für die Industrie interessant. So steckt der Chemiekonzern BASF einen Teil des 80-Millionen-Euro-Budgets seines Wachstumsclusters Energiemanagement in die Entwicklung von thermoelektrischen Modulen. Das sind die Bausteine, aus denen die Generatoren zusammengesetzt werden sollen. Wie viel genau in die Entwicklung dieser Technologie investiert wird, will das Unternehmen nicht verraten. Das Ziel der Forschung ist jedenfalls hoch gesteckt: „Um den Anforderungen der Automobilindustrie gerecht zu werden, müssen die Module drei- bis fünfmal effizienter werden als heute“, sagt Georg Degen von der BASF Future Business, eine Tochtergesellschaft des Chemiekonzerns.

Die Suche nach einem dafür geeigneten thermoelektrischen Material bereitet den Forschern enormes Kopfzerbrechen. Nicht nur, dass der Wirkungsgrad der Substanzen je nach Temperatur stark schwankt und es deshalb schwer ist, einen Stoff zu

finden, der im gesamten Temperaturbereich von moderaten Außentemperaturen bis 500 Grad Celsius effizient arbeitet. Darüber hinaus muss das Material in großen Mengen verfügbar sein. Ansonsten sind die Generatoren nicht wirtschaftlich.

Das Wunschmaterial der Forscher soll Wärme möglichst schlecht leiten, Strom aber möglichst gut. Ersteres führt dazu, dass ein Temperaturgefälle entsteht und erhalten bleibt, wenn man das Material auf einer Seite erwärmt. Letzteres erlaubt es den Elektronen, von der heißen zur kalten Seite des Kristalls zu reisen und umgekehrt. Weil die Elektronen auf der heißen Seite sich schneller bewe-

„Für den Einsatz im Auto muss die Technologie dreibis fünfmal effizienter werden als heute.“

Georg Degen, BASF

gen als die auf der kalten, erreichen mehr heiße Elektronen die kalte Seite als umgekehrt. Damit sammeln sich die Ladungsträger in der kalten Hälfte. Das erzeugt eine elektrische Spannung, die ins Bordnetz eines Autos gespeist werden kann.

Die Krux dabei: Gute Stromleiter sind in der Regel auch gute Wärmeleiter, denn beide Eigenschaften werden auf atomarer Ebene durch ein regelmäßiges Kristallgitter gefördert. Elektrizität breitet sich darin in Form von Elektronenströmen aus, Wärme in Form von Gitterschwingungen, die sich wellenförmig durch das Material bewegen. Unregelmäßig aufgebaute Stoffe anstatt perfekter Kristalle zu verwenden, wäre also keine Lösung.

Die DLR-Forscher wollen stattdessen schwere Atome wie Indium und Neodym in das Kristallgitter einbauen. Sie sollen wie Wellenbrecher wirken und so zwar den Wärmestrom behindern, nicht aber die Bewegung der Elektronen.

Einen anderen Ansatz verfolgen Forscher vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM) in Freiburg, das mit der BASF in Sachen Thermoelektrik zusammenarbeitet. „Wir wollen die Effizienz der Ausgangsmaterialien verbessern, indem wir darin nanometerdünne Schichten aus anderen Materialien einfügen“, sagt Harald Böttner vom IPM. Die winzigen Strukturen verbessern entweder die elektrische Leitfähigkeit oder sie vermindern die Wärmeleitfähigkeit – beides erhöht die Effizienz der Generatoren. Entscheidend ist die Orientierung der Schichten: Verlaufen sie parallel zum Temperaturgefälle durch das thermoelektrische Material, dann wirken sie wie Rutschbahnen für Elektronen und erleichtern es den Elementarteilchen, dem Hitzeabfall zu folgen. Nanoschichten quer zum Gefälle aber behindern wie eine Brandungsmauer die Wärmewellen und damit den Wärmetransport.

Der Plan klingt einfach. Aber Böttner weiß, welche Hürden auf die Forscher warten. Zwar gebe es viele Materialien, die sich für den Einbau in die Ausgangsstoffe eignen. „Aber sie müssen Temperaturschwankungen zwischen Minusgraden im Winter und 500 Grad Celsius unbeschadet überstehen“, sagt der Chemiker. Welche Materialkombination das Rennen machen wird, sei bislang noch offen. Georg Degen von BASF erwartet dennoch schon bald Erfolge: „In fünf bis zehn Jahren könnten die ersten thermoelektrischen Generatoren auf den Markt kommen.“

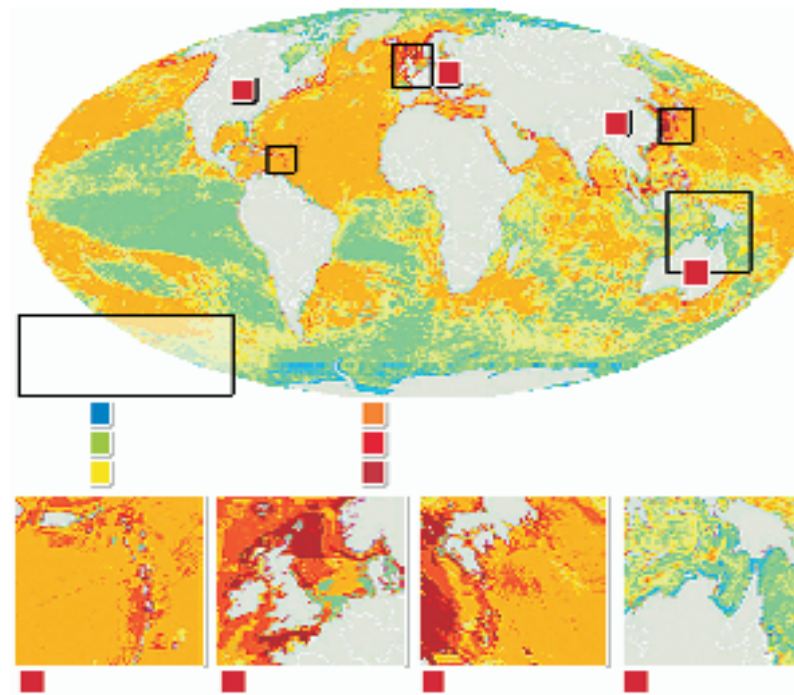
## Ozeane fest in Menschenhand

Ein Weltatlas führt vor Augen, dass es kaum noch unberührte Meeresgebiete gibt

VON LUCIAN HAAS

Mehr als 40 Prozent der Ozeane sind heutzutage stark von Menschen beeinträchtigt; nur noch vier Prozent sind relativ unberührt geblieben. Das zeigt die erste globale Querschnittsanalyse humaner Einwirkung auf die Weltmeere, die von US-Forschern gestern auf der Jahrestagung der American Association for the Advancement of Science in Boston präsentiert wurde. Die Studie erscheint heute auch im Wissenschaftsjournal Science. Sie zeigt nach Ansicht der Autoren, wo Schutzzonen besonders dringend notwendig sind.

Ein Team um den Ökologen Ben Halpern vom National Center for Ecological Analysis and Synthesis der University of California in Santa Barbara hatte das Wirken von 17 menschlichen Einflussfaktoren auf die Meere untersucht. Dazu gehören Schiffsverkehr, Rohstoffförderung, Fischerei, Umweltverschmutzung sowie der menschliche Anteil an Klimaveränderungen. Aufgrund der Daten berechneten die Forscher für jeden Quadratkilometer Meeresoberfläche den durchschnittlichen Grad der Beeinträchtigung. Diese Bilanz stellt das Team auf mehreren Karten bildlich



Die Karten zeigen, wo der Mensch die Meere verändert – von den blau dargestellten, fast unberührten Ozeanregionen, bis zu den roten, stark genutzten Gegenden. 17 Faktoren wurden berücksichtigt, darunter Schiffsverkehr und Fischerei.

dar (siehe Grafik). Der Studie zufolge liegen die am stärksten betroffenen Ökosysteme in der Nordsee, vor den Küsten Chinas und Japans, in

der Karibik, an der Ostküste Nordamerikas, im Mittelmeer, im Roten Meer, am Persischen Golf und in einigen Regionen des Westpazifiks.

Betroffen sind insbesondere Fels- und Korallenriffe, Seegrasflächen und Mangrovenwälder.

Am wenigsten verändert sind bislang die Polarmeere. Da aber durch den Klimawandel die Eiskappen an den Polen schmelzen und der Mensch auf der Suche nach Rohstoffen immer weiter vordringt, könnte sich das bald ändern, befürchten die Forscher. Sie plädieren deshalb für die Einrichtung großräumiger Schutzgebiete ohne Fischerei, Schiffsverkehr, Rohstoffabbau oder touristische Nutzung.

Auch manche Regierungen sehen offenbar die Gefahren für die Ozeane und handeln entsprechend. So hat der Inselstaat Kiribati im südwestlichen Pazifik gestern die Einrichtung einer 410.000 Quadratkilometer großen Meeresschutzzone bekannt gegeben (zum Vergleich: Deutschland ist 357.000 Quadratkilometer groß). Das Gebiet ist die weltweit größte Schutzzone dieser Art. In den Gewässern Kiribatis leben etwa 120 Korallen- und 520 Fischarten. (mit Reuters) Science, Bd. 319, S. 948

Interaktive Darstellungen der Karten: [www.nceas.ucsb.edu/GlobalMarine](http://www.nceas.ucsb.edu/GlobalMarine)

## Zwei neue Quellen für verjüngte Zellen

Stammzellen mit geringerem Krebsrisiko erzeugt

Die kürzlich entdeckte Methode, ausgereifte Körperzellen mithilfe genetischer Tricks so zu verjüngen, dass sie sich wie embryonale Stammzellen verhalten, ist offenbar für unterschiedliche Zelltypen geeignet. Wie ein Team um Takashi Aoi von der Universität Kyoto im Fachblatt Science berichtet, ist es ihm bei Mäusen gelungen, mithilfe von vier eingeschleusten Genen auch Zellen der Leber und der Magenschleimhaut in ihren embryonalen Ursprungszustand zu versetzen. Bislang hatten die Forscher für ihr Verfahren ausschließlich Bindegewebszellen verwendet. Außerdem konnten Aoi und seine Kollegen zeigen, dass aus den verjüngten Zellen der erwachsenen Tiere auch Keimzellen hervorgehen können.

Die Wissenschaftler aus der Arbeitsgruppe von Shinya Yamana verwendeten für die Reprogrammierung der Mäusezellen die Gene mit der Bauanleitung für vier Eiweiße, mit denen sie zuvor schon die Bindegewebszellen von Mäusen und Menschen verjüngt hatten. Eines der Eiweiße trägt den Namen c-Myc. Die Forscher konnten nun erstmals zeigen, dass sich die mithilfe bestimmter Viren eingeschleusten Gene – anders als bisher vermutet – an verschiedenen Stellen im Erbgut einnisteten.

Die im Labor gewonnenen iPSC-Zellen (induced Pluripotent Stem Cells, übersetzt etwa: künstlich erzeugte pluripotente Stammzellen) pflanzten Aoi und sein Team anschließend Mäuseembryonen ein. Anders als bei früheren Versuchen blieben die Mäuse im Beobachtungszeitraum von dreißig Wochen frei von Tumoren. „Das mag Zufall sein“, sagt der Stammzellforscher Tobias Cantz vom Max-Planck-Institut für Molekulare Biomedizin in Münster. „Es könnte aber auch daran liegen, dass die Zellen der Leber und der Magenschleimhaut das Gen für c-Myc, das bekanntermaßen Krebs auslösen kann, seltener in ihr Erbgut einbauen, als es Bindegewebszellen tun.“ Für die Behandlung von Patienten seien die Zellen aus Sicherheitsgründen aber noch ungeeignet. (bro.) Science, DOI 10.1126/science.1154884

## Kleiner Bruder des Sonnensystems

Neu entdeckte Planeten ähneln Saturn und Jupiter

Ein internationales Astronometeam hat 5.000 Lichtjahre von der Erde entfernt einen Stern mit zwei Planeten entdeckt, die mit Jupiter und Saturn vergleichbar sind. Das System ähnele dem Sonnensystem mehr als alle anderen bisher entdeckten Planetensysteme, schreiben die Forscher um Scott Gaudi von der Ohio State University im Fachjournal Science.

Die beiden Gasriesen umkreisen einen Stern namens OGLE-2006-BLG109L. Gaudi und seine Kollegen konnten die beiden Planeten nur indirekt beobachten. Durch ein als Mikrolinseneffekt bezeichnetes Phänomen verstärkte OGLE-2006-BLG109L etwa zwei Wochen lang das Licht eines anderen Sterns um das Fünfhundertfache. Diese Verstärkung wirkt wie eine Lupe und macht auch kleine Objekte sichtbar, beispielsweise Planeten.

Das Planetensystem um OGLE-2006-BLG109L ist zwar kleiner als das Sonnensystem, die Relationen zwischen den einzelnen Himmelskörpern stimmen jedoch überein. Wie bei Saturn und Jupiter besitzt der größere der beiden Planeten etwa dreimal so viel Masse wie der kleinere. Zudem umkreist der größere Planet seinen Stern in einer Entfernung, die ungefähr halb so groß ist wie der Abstand zwischen dem Stern und dem kleineren Planeten – dieses Verhältnis gilt auch für die Umlaufbahnen von Jupiter und Saturn um die Sonne.

Ob es rund um OGLE-2006-BLG109L noch kleinere Planeten gibt, können die Forscher noch nicht sagen. Aufgrund der großen Ähnlichkeit zum Sonnensystem halten sie es jedoch für sehr wahrscheinlich. (ddp) Science, Bd. 319, S. 927