

PHYSIK  Diesen Artikel können Sie als Audiodatei beziehen; siehe [www.spektrum.de/audio](http://www.spektrum.de/audio)

## Moderne Tarnkappe

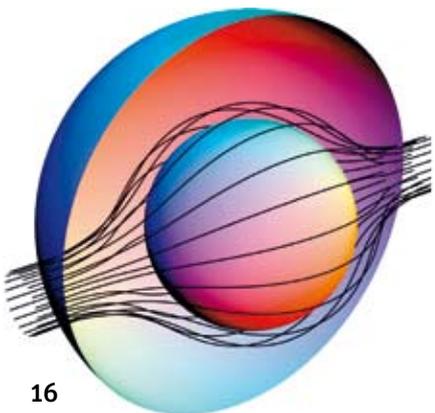
Eine Vorrichtung aus Metallringen lässt Licht um ein Objekt herumfließen und macht dieses somit unsichtbar – vorerst allerdings nur für Mikrowellen.

Von Stefan Maier

Wer wäre in unserem hektischen Alltag nicht gerne einmal für ein paar Stunden unsichtbar? Bisher klappte dieser Trick nur in Sagen und Kinderbüchern – siehe Siegfried und Harry Potter. Nun haben US-Forscher die Tarnkappe jedoch aus der Fantasiewelt in die Realität geholt (*Science*, Bd. 314, S. 977). David R. Smith und seine Mitarbeiter an der Duke-Universität in Durham (North Carolina) bauten ihren Zaubermantel nach einem Rezept, das sie zusammen mit dem theoretischen Physiker John Pendry vom Imperial College in London entwickelt und fünf Monate zuvor veröffentlicht hatten (*Science*, Bd. 312, S. 1780). Was Möchtegern-Siegfrieds besonders erfreuen dürfte: Die Zutaten zur Herstellung der Tarnkappe sind nichts weiter als ringartige Strukturen aus Metall.

Doch bevor Sie versuchen, das Wunderding selbst zu bauen, sollten Sie die Risiken und Nebenwirkungen kennen. So würden nicht nur Sie für die Welt unsichtbar, sondern auch die Welt für Sie – Sie wären also blind. Außerdem verschwänden Sie im jetzigen Modell ledig-

▼ **Wenn ein Gegenstand unsichtbar werden soll, muss man die Lichtstrahlen um ihn herumlenken und dafür sorgen, dass sie dahinter ihren ursprünglichen Weg fortsetzen, als habe es kein Hindernis gegeben.**



JOHN B. PENDRY, DAVID SCHUBIG UND DAVID R. SMITH

lich für polarisierte Mikrowellen mit einer Wellenlänge von 3,5 Zentimetern von der Bildfläche – und auch das nur in einer Ebene senkrecht zur Polarisationsrichtung und nicht einmal vollständig: Ein schwacher Schatten bliebe.

Aber wir wollen nicht kleinlich sein und zu viel auf einmal verlangen. Wissenschaftler und Techniker werden bestimmt alles daran setzen, die Vorrichtung Schritt für Schritt zu verbessern. Haben wir also noch ein wenig Geduld!

Wie aber macht man einen Körper unsichtbar? Die Antwort ist im Grunde einfach: Man sorgt dafür, dass alle Lichtstrahlen, die auf ihn treffen würden, um ihn herumgelenkt werden und sich hinter ihm wieder so vereinigen, als wäre das Objekt gar nicht vorhanden – ähnlich den Strömungslinien von Wasser, das einen Gegenstand umfließt.

Aber wie lässt sich ein solcher Strahlengang realisieren? Die Antwort sitzt Ihnen womöglich auf der Nase. Wie jeder weiß, können Glaslinsen Licht ablenken und auf einen Punkt fokussieren. Die Stärke dieses Effekts hängt vom Brechungsindex des betreffenden Materials ab. Im Prinzip sollte es also gelingen, durch eine geschickte Anordnung von Linsen die Lichtstrahlen in der geschilderten Weise um das zu versteckende Objekt herumzulenken.

Statt mit einem konisch geschliffenen Glaskörper kann man Licht aber auch mit einer flachen Scheibe fokussieren, wenn deren Brechungsindex durch chemische Modifikation lokal in geeigneter Weise abgewandelt wird. Somit lässt sich die vorgeschlagene Anordnung von Linsen durch einen zusammenhängenden Glaszylinder ersetzen, der den zu verbergenden Gegenstand umhüllt. Wie dessen Brechungsindex variieren muss, hatte Pendry in seiner theoretischen Arbeit für ein kugelförmiges Objekt berechnet.

Das Ergebnis birgt allerdings etliche Tücken und zeigt, dass der Trick so ein-

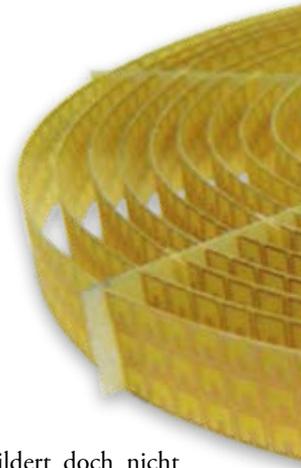
fach wie gerade geschildert doch nicht funktioniert. So muss sich das Licht in der durchsichtigen Hülle, welche die zu verbergende Kugel umhüllt, überall schneller ausbreiten als im umgebenden leeren Raum; denn es hat einen längeren Weg zurückzulegen.

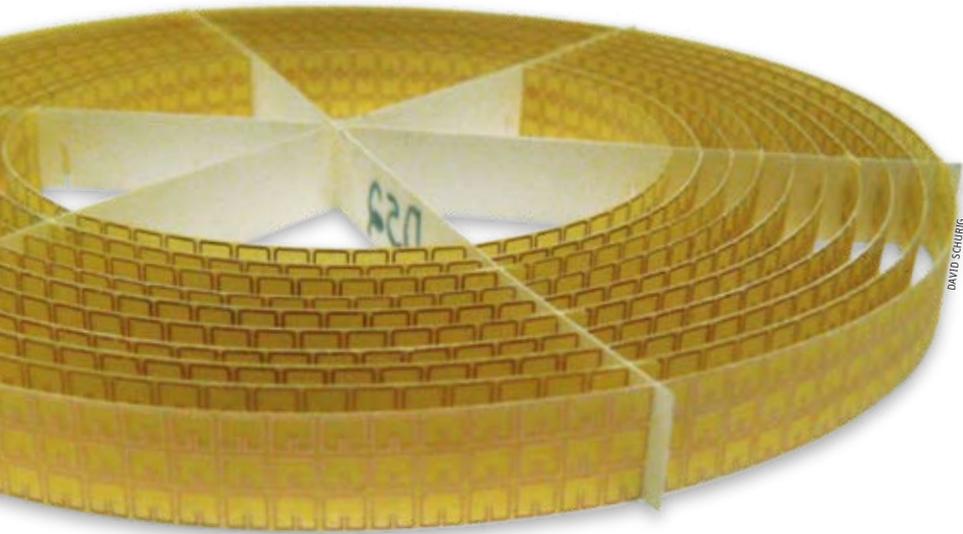
Doch keine Panik – Einsteins Relativitätstheorie steht dem nicht entgegen; denn nur die so genannte Phasengeschwindigkeit der Lichtwellen muss die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum überschreiten, damit die Tarnkappe funktioniert. Die Gruppengeschwindigkeit, mit der Lichtimpulse zum Beispiel Informationen übermitteln können, bleibt dagegen geringer. Grundsätzlich ließe sich die Tarnkappe also im Einklang mit den Gesetzen der Physik herstellen.

### Negativer Brechungsindex

Dennoch ist die praktische Realisierung extrem schwierig. Der Brechungsindex muss nämlich nicht nur über einen weiten Bereich variieren, sondern auch kleiner als eins oder gar negativ sein – was bis vor Kurzem unvorstellbar schien. Erst neuerdings lassen sich dank der gemeinsamen Forschung einer Vielzahl von Wissenschaftlern künstliche Stoffe mit fast beliebigem und somit auch negativem Brechungsindex herstellen – bisher allerdings nur im Spektralbereich zwischen Mikrowellen und Infrarotlicht. Man bezeichnet sie als Metamaterialien, weil sie nicht wie normale Werkstoffe in sich chemisch homogen sind, sondern aus verschiedenartigen makroskopischen, wenngleich immer noch winzigen Strukturelementen bestehen, die in regelmäßigen Mustern angeordnet werden.

In unserem Fall handelt es sich, wie Pendry schon gegen Ende der 1990er Jahre herausfand, um periodische Abfolgen von Stäbchen und Ringen aus Metall. Wenn ihre Abmessungen und ihr gegenseitiger Abstand viel kleiner als die Wellenlänge der verwendeten elektro-





◀ Mit dieser Tarnkappe ließ sich ein flacher Kupferzylinder für parallel zu seiner Achse polarisierte Mikrowellen weitgehend unsichtbar machen. Dazu wurden Reihen aus quadratischen, metallenen »Spaltringen« in Plastikfolien konzentrisch um den Zylinder angeordnet.

magnetischen Strahlung sind, erscheint der Körper für diese Strahlung als ein homogener Stoff. Der Brechungsindex hängt dann von den Dimensionen der metallischen Bauteile ab und lässt sich durch Resonanzeffekte über einen weiten Bereich variieren.

Forscher in aller Welt haben innerhalb der letzten Jahre eine Vielzahl derartiger Metamaterialien geschaffen und gezeigt, dass deren Brechungsindex in der Tat praktisch beliebig einstellbar ist. Auch negative Werte kann er annehmen, sodass Licht in die »falsche« Richtung gebrochen wird (Spektrum der Wissenschaft 10/2006, S. 74).

Obwohl Metamaterialien also alle Voraussetzungen für den Bau von Pendry's Tarnkappe erfüllen, warf die praktische Realisierung noch mehr als genug Probleme auf. Deshalb mussten die Forscher Kompromisse eingehen. So versteckten sie statt einer Kugel einen flachen Zylinder. Außerdem ließen sie die Stäbchen weg und benutzten nur Ringe, die sie parallel zueinander in einer Ebene um den Zylindermantel anordneten.

Dadurch kam es zu den genannten Einschränkungen: Ausschließlich Mikrowellen, die senkrecht zur Ringebene polarisiert waren, wurden in der gewünschten Weise um das zu versteckende Objekt gelenkt. Da das Metamaterial wegen der fehlenden Stäbchen außerdem einen

kleinen Teil der Strahlung reflektierte, warf der Zylinder im Zaubermentel einen schwachen Schatten.

Doch trotz dieser Einschränkungen bedeutet die erste real existierende Tarnkappe eine große technische Errungenschaft. Auch Anwendungsmöglichkeiten sind bereits denkbar. So könnte die Apparatur in verbesserter, weiterentwickelter Form zur Abschirmung elektronischer Bauteile vor langwelliger elektromagnetischer Strahlung dienen.

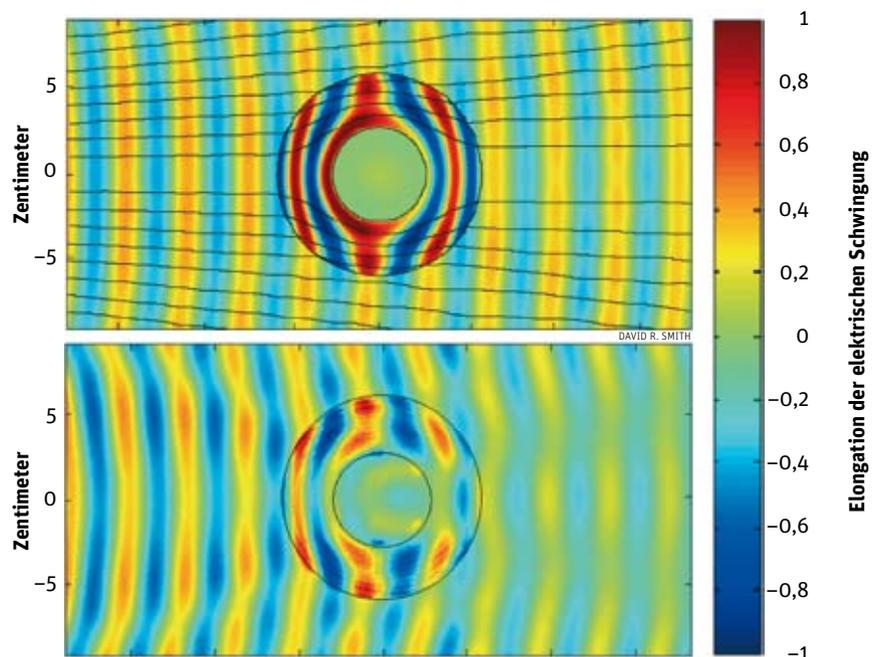
Außerdem ist die Ausdehnung des Spektralbereichs bis zum sichtbaren Licht keineswegs ausgeschlossen. Allerdings müssten die Ringe und Stäbchen dann Abmessungen von wenigen Nanometern haben, damit sie sehr viel kleiner sind als die Wellenlänge der Strahlung. Das stellt extreme Anforderungen an ihre Fabrikation. Trotzdem sind Forscher seit zwei Jahren dabei, auch Metamaterialien für sichtbares Licht zu konstruieren.

Ein Zaubermentel für den gesamten optischen Spektralbereich ist dennoch nicht zu erwarten. Die Tarnung funktioniert nämlich nur jeweils für einen sehr kleinen Ausschnitt aus dem Spektrum, da der Brechungsindex eines Metamaterials stark von der Wellenlänge abhängt. Somit müsste für jede Farbe eine eigene Tarnkappe angefertigt werden. Die verschiedenen Exemplare übereinander anzuziehen, um komplett unsichtbar zu sein, wäre auch nicht ohne Weiteres möglich, weil sich ihre Effekte überlagern und stören würden.

Außerdem ließe sich mit extrem kurzen Lichtblitzen, die aus nur wenigen Wellenzügen bestehen, die Tarnung aufheben. Diese schmalen Wellenpakete müssten sich, damit das Objekt unsichtbar bleibt, als ganze schneller bewegen als Licht im Vakuum. Das aber würde bedeuten, dass man mit ihnen Informationen – etwa in Form von Morse-Code – im Überlichttempo senden könnte. Und das ist dann doch mehr, als Einstein erlaubt.

**Stefan Maier** ist Professor für Physik an der Universität Bath (Großbritannien).

▶ Eine ebene Lichtwelle, die auf einen Kupferzylinder mit Tarnkappe trifft, bewegt sich dahinter unverzerrt weiter. Anders als bei der Simulation einer idealen Tarnkappe (oben) wird die Welle im realen Fall (unten) allerdings etwas geschwächt, sodass das versteckte Objekt einen leichten Schatten wirft. Die Farben geben den momentanen Wert des elektrischen Feldvektors an.





# Als Abonnent haben Sie viele Vorteile

- 1 Sie sparen gegenüber dem Einzelkauf und zahlen pro Heft nur € 6,30 statt € 6,90. Als Schüler, Student oder Azubi zahlen Sie sogar nur € 5,45.
- 2 Sie haben online freien Zugang zu allen Spektrum-Ausgaben seit 1993 mit derzeit über 6000 Artikeln.



- 3 Unter [www.spektrum-plus.de](http://www.spektrum-plus.de) finden Sie jeden Monat einen kostenlosen Zusatzartikel, der nicht im Heft erscheint.
- 4 Sie erhalten für Ihre Bestellung ein Dankeschön Ihrer Wahl.
- 5 Sie können die Online-Wissenschaftszeitung »spektrumdirekt« günstiger beziehen.

Zum Bestellen einfach nebenstehende Karte ausfüllen und abschicken

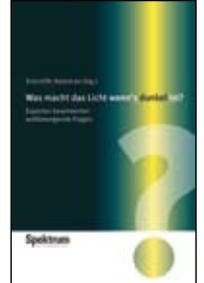
oder per Internet: [www.spektrum.de/abo](http://www.spektrum.de/abo)  
 per Telefon: 06221 9126-743  
 per Fax: 06221 9126-751  
 per E-Mail: [service@spektrum.com](mailto:service@spektrum.com)

## Abonnieren oder verschenken

Wenn Sie **Spektrum der Wissenschaft** selbst abonnieren oder verschenken, bedanken wir uns bei Ihnen mit einem Präsent. Wenn Sie ein Geschenkabo bestellen, verschicken wir das erste Heft zusammen mit einer Grußkarte in Ihrem Namen.

### Buch »Was macht das Licht wenn's dunkel ist?«

Hier beantworten Experten Fragen, die wir schon immer einmal stellen wollten.



## Leser werben Leser

Sie haben uns einen neuen Abonnenten vermittelt? Dann haben Sie sich eine Dankesprämie verdient!



### Universalgutschein BestChoice

Einlösbar bei bis zu 100 Anbietern wie z. B. Amazon, IKEA, Douglas, OBI oder WOM. Umtausch gegen Bargeld ist ausgeschlossen.

## Maßgeschneiderte Wissenschaft



### Spektrum-T-Shirt »Nervenzelle«

Mit Abbildung einer Nervenzelle; schwarz, 100% Baumwolle, wahlweise in XL oder M; € 14,50

## KYRILLS SEISMISCHER FINGERABDRUCK

Der Orkan Kyrill ließ auch den Boden erzittern.

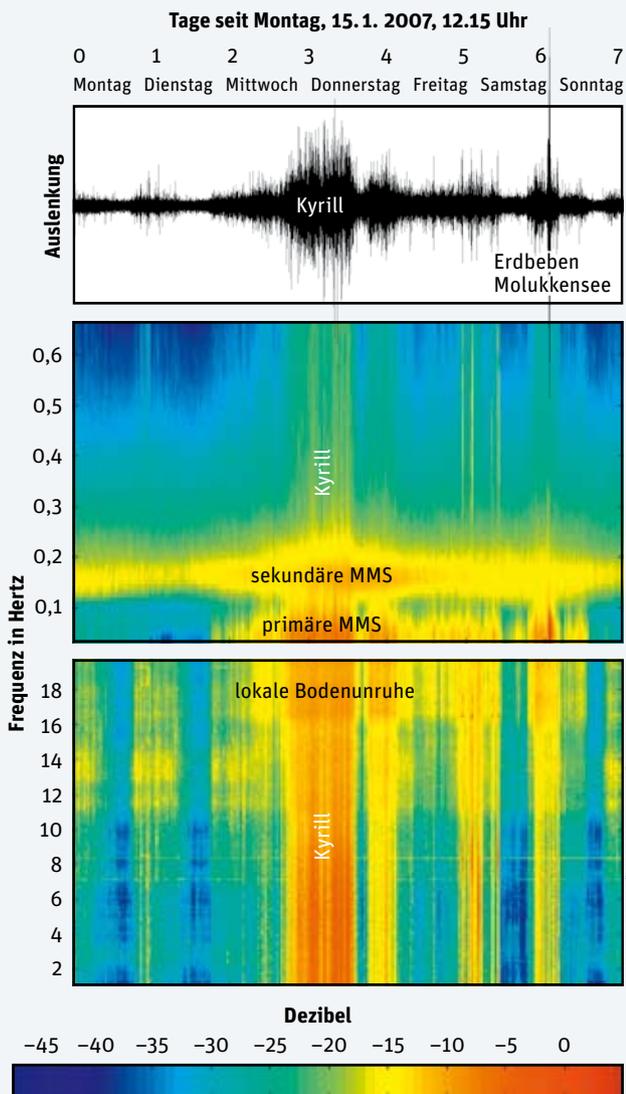
**VOM 18. BIS 19. JANUAR 2007 TOBTE DER ORKAN KYRILL** über weiten Teilen Europas. Wegen seiner ungewöhnlichen Stärke ließ er sich nicht nur mit den üblichen meteorologischen und satellitengestützten Instrumenten beobachten, sondern auch mit Geräten, die normalerweise Erdbeben registrieren.

Wie ist das zu erklären? Auf dem Meer und im Küstenbereich erzeugen schwere Stürme hohe Wellen. Die resultierenden Höhenänderungen der Wassersäule wirken am Meeresboden als Druckschwankungen, die seismische Schwingungen im tieffrequenten Bereich erregen. Man unterscheidet eine primäre Meeresmikro-

seismik, die bei etwa 0,05 bis 0,08 Hertz liegt, und eine stärkere sekundäre bei 0,1 bis 0,2 Hertz. An Land prallen die Windböen gegen Berge und rütteln an Bäumen und Gebäuden. Auch dabei verursachen sie seismische Wellen, deren Frequenzen allerdings bis über 50 Hertz reichen.

Die von Kyrill ausgelösten Bodenbewegungen konnten wir mit einer Station des Geophysikalischen Instituts der Universität Karlsruhe am Rand von Karlsruhe-Durlach außergewöhnlich gut beobachten. Was das Seismometer aufzeichnete, waren Erschütterungen über ein breites Frequenzband von 0,03 bis 20 Hertz. In dem so erhaltenen Seismogramm für die Zeit von Montag, dem 15., bis Montag, dem 22. Januar 2007, lässt sich ab Mittwochabend ein Anschwellen der Bodenunruhe auf etwa das Dreifache des typischen Hintergrundwerts erkennen. Der Effekt kulminiert am Donnerstagabend und ebbt zum Wochenende hin ab. Tatsächlich sind die Ausschläge im Maximum fast so stark wie bei einem heftigen Erdbeben der Magnitude 7,3, das sich am Sonntag, dem 21. Januar, unter der Molukkensee im östlichen Indonesien ereignete.

Um die Daten besser analysieren zu können, unterzogen wir sie einer Fouriertransformation und stellten sie in zwei Spektrogrammen dar, welche die farbcodierte Intensität der Wellen in Abhängigkeit von der Frequenz zeigen. Dabei normierten wir die Bodenbewegung auf ihr Maximum und rechneten sie in Dezibel um. Der resultierende Wertebereich erstreckt sich also von null für die stärkste Erschütterung (rot) zu negativen Zahlen hin (siehe Maßstab).



JOACHIM RITTER UND JÖRN GROOS, UNIVERSITÄT KARLSRUHE

Die von Orkan Kyrill verursachten Ausschläge eines Seismometers bei Karlsruhe waren fast so stark wie die eines Erdbebens der Magnitude 7,3 unter der Molukkensee (oben). In Spektrogrammen, in denen die Intensität der seismischen Schwingungen nach der Frequenz aufgeschlüsselt ist, lässt sich die niederfrequente Meeresmikroseismik (MMS) von den höherfrequenten lokalen Bodenvibrationen unterscheiden (unten).

**WIE DEM TIEFFREQUENTEN SPEKTROGRAMM ZU ENTNEHMEN IST,** stieg als Erstes die Meeresmikroseismik an. Das Orkantief, das sich aus Westen über den Atlantik nach Europa bewegte, verursachte nämlich ab Mittwoch früh bereits einen erhöhten Wellengang. Dadurch setzte die vorher unmessbar schwache primäre Meeresmikroseismik unterhalb 0,1 Hertz ein und die Amplitude der sekundären erhöhte sich. Beide Effekte wurden noch vom lokalen Wind überlagert und hielten rund drei Tage an – bis Samstagmorgen.

Die lokale Bodenunruhe, deren Frequenzspektrum von einigen wenigen bis mindestens 20 Hertz reicht, verstärkte sich dagegen erst am Vormittag des 18. Januar, als der Orkan in Südwestdeutschland ankam. Und schon nach einem Tag waren die Erschütterungen wieder abgeklungen. Im hochfrequenten Spektrogramm erscheinen sie als rotes Band inmitten eines Streifenmusters, das die von Menschen verursachte Seismizität widerspiegelt, die im Tag-Nacht-Rhythmus schwankt. Horizontale Linien stammen von elektrisch betriebenen Maschinen – von Heizpumpen bis zu großen Stromgeneratoren – im Großraum Karlsruhe mit diskreten Schwingungsfrequenzen.

Dass ein Sturm auch den Boden erzittern lässt, ist zwar keine neue Erkenntnis, ließ sich aber bisher selten so deutlich demonstrieren. Die Erschütterungen zu registrieren hat auch praktischen Wert. So können historische Messungen der Meeresmikroseismik beispielsweise dazu dienen, Auswirkungen des Klimawandels auf die Ozeane in den letzten hundert Jahren zu rekonstruieren.

**Joachim R. R. Ritter** und **Jörn Groos**

Geophysikalisches Institut der Universität Karlsruhe

## WAHRNEHMUNG

# Wie wir Gesichter erkennen

In welcher Form werden Gesichter in unserem Gehirn gespeichert? Offenbar merken wir uns nur die Abweichungen von einem Durchschnittsgesicht.

Von Martin A. Giese  
und David A. Leopold

Wenn wir Bekannte treffen, erkennen wir sie in erster Linie an ihrem Gesicht. Zudem können wir aus ihrer Miene schnell auf ihre Stimmung schließen. Allgemein hilft das visuelle Erkennen von Gesichtsbewegungen auch beim Verstehen von Sprache. All das zeigt die große Bedeutung, die Gesichter für uns haben. Deshalb ist unser Sehsystem besonders auf sie geeicht. Mühelos können wir auf Fotos Hunderte von Gesichtern unterscheiden, selbst wenn sie nur kurz gezeigt werden. Manche Nervenzellen feuern dabei schon 0,1 Sekunden nach der Präsentation.

Psychologen untersuchen die Gesichtswahrnehmung seit Langem. Dabei haben sie einige wichtige Eigenschaften entdeckt. Zum Beispiel erkennen wir Gesichter sehr viel schlechter, wenn sie auf dem Kopf stehen. Außerdem gibt es eine Art Vertrautheitseffekt: Gesichter von Menschen aus unserem eigenen Kulturkreis, die wir häufig sehen, können wir besser unterscheiden als solche von

Mitgliedern anderer Rassen, mit denen wir weniger Kontakt haben.

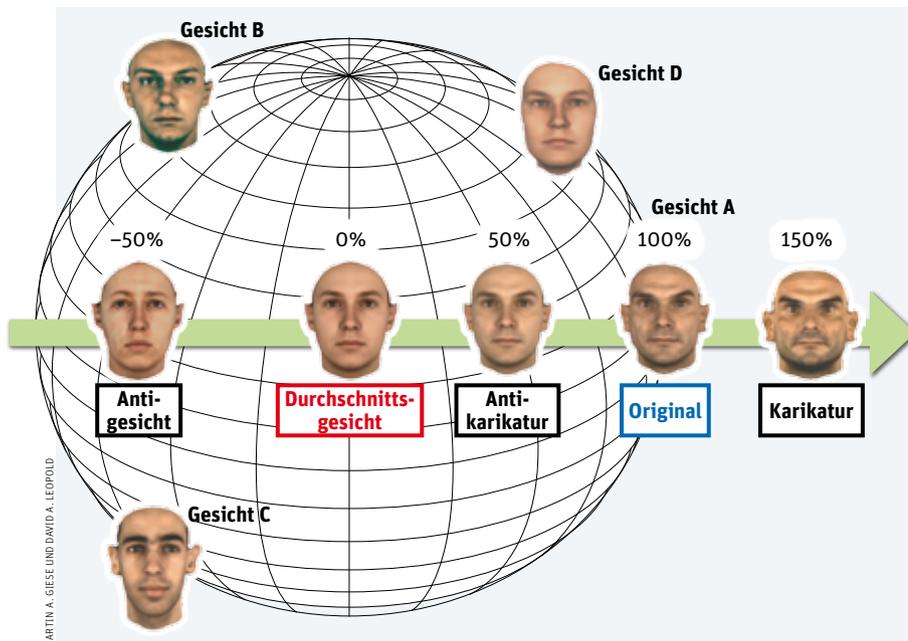
Welche Hirnregionen sind an der Gesichtserkennung beteiligt? Erste Aufschlüsse gaben wie bei anderen Sinnesleistungen Patienten mit lokalen Hirnverletzungen, bei denen diese Fähigkeit gestört war. Wesentlich genauer ließen sich die beteiligten Hirnstrukturen jedoch später mit bildgebenden Verfahren wie der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT) ermitteln. Demnach spielen beim Menschen insbesondere Hirnregionen im Schläfenlappen – tief an seiner Basis im fusiformen Gyrus (*fusiform face area*, FFA) und etwa höher in seiner oberen Furche (*Sulcus temporalis superior*, STS) – eine wichtige Rolle. Dabei scheint die erstgenannte Region vor allem am Wiedererkennen von Gesichtern beteiligt zu sein, während die zweite eher veränderliche Aspekte wie das Mienenspiel verarbeitet.

Wie beschreibt man nun Gesichter, um die neuronalen Mechanismen ihrer Wahrnehmung erforschen zu können? Am besten betrachtet man sie als Punkte in einem mehrdimensionalen Raum

(Bild unten). Ähnliche Gesichter entsprechen dabei benachbarten Punkten. Jede der unzähligen Achsen dieses Raums verkörpert eine andere Eigenschaft. Wenn eine große Zahl von Gesichtern gegeben ist, kann man ihren »Schwerpunkt« berechnen und so das Durchschnittsgesicht ermitteln. Dieses wird, wie Untersuchungen ergaben, meist als besonders ansprechend empfunden.

## Karikatur wird leichter erkannt

Statt durch seine Koordinaten im Gesichtsraum kann man ein gegebenes Gesicht nun auch mit dem Vektor beschreiben, der vom Durchschnittsgesicht zu ihm führt. Er gibt an, wie stark es in welcher Richtung von diesem abweicht. Verlängert man den Vektor, entsteht eine Karikatur; denn die typischen Merkmale des betreffenden Gesichts erscheinen nun in übertriebener Form. Solche Karikaturen werden normalerweise sicherer und schneller erkannt als die Originalgesichter. Wird die Verbindungslinie zwischen Durchschnitts- und Originalgesicht verkürzt, ergibt sich dagegen eine



Gesichter lassen sich als Punkte in einem mehrdimensionalen Gesichtsraum auffassen, dessen Achsen einzelne Merkmale repräsentieren. Ihr Schwerpunkt entspricht dann dem Durchschnittsgesicht. Indem man den Vektor von diesem zu einem Originalgesicht verlängert, verkürzt oder in die Gegenrichtung spiegelt, erhält man eine Karikatur, eine Antikarikatur oder ein Antigesicht. Die vier abgebildeten Beispielgesichter in einem Gesichtsraum, der zwangsläufig nur dreidimensional dargestellt ist, wurden mit einem Bildsyntheseverfahren erzeugt, das Volker Blanz und Thomas Vetter vom Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen entwickelt haben.

Antikarikatur. Die Länge des Vektors entlang der Achse zwischen Durchschnitts- und Originalgesicht wird auch Karikaturlevel genannt.

Man kann den genannten Vektor aber auch über das Durchschnittsgesicht hinaus in der entgegengesetzten Richtung verlängern. Dann kommt man in den Bereich der Antigesichter. Auch hier gibt es einen interessanten Effekt: Zeigt man für einige Sekunden das Antigesicht, bei dem der ursprüngliche Vektor gerade gespiegelt ist, und präsentiert dann kurz das Durchschnittsgesicht, entsteht vorübergehend ein Wahrnehmungseindruck, der dem Originalgesicht ähnelt. Dieses Phänomen bezeichnen Psychologen als Gesichtsnacheffekt.

Aber wie sind Gesichter im Gehirn repräsentiert? In der Psychologie gibt es vor allem zwei konkurrierende Theorien darüber. Die eine postuliert eine »beispielbasierte Enkodierung«. Demnach soll es einzelne Neuronen oder Neuronengruppen geben, die jeweils besonders stark auf ein spezielles eingepprägtes Gesicht reagieren. Je mehr der aktuelle Stimulus diesem gleicht, desto stärker feuern sie. Der Gesichtsraum wäre dann durch eine Vielzahl solcher Neuronen

abgedeckt, die jeweils für einzelne Regionen zuständig sind.

Dem steht die Theorie der »normbasierten Enkodierung« gegenüber. Ihr zufolge merkt sich das Gehirn die Abweichung des jeweiligen Gesichts vom Durchschnitt – der »Norm« –, indem es Länge und Richtung des Vektors zwischen beiden ermittelt und abspeichert. Die Ergebnisse vieler psychophysischer Experimente sind mit beiden Theorien vereinbar. Deshalb war es bisher schwierig, eine Entscheidung zwischen ihnen zu fällen.

### Versuche mit Affen

Um weitere Aufschlüsse zu gewinnen, haben wir elektrophysiologische Experimente mit zwei Makaken durchgeführt. Dabei maßen wir die Aktivität von insgesamt 209 gesichtsselektiven Nervenzellen im unteren Schläfenlappen in Abhängigkeit von dargebotenen künstlichen fotorealistischen Gesichtsbildern (*Nature*, Bd. 442, S. 572). Diese waren mit einer Methode des Max-Planck-Instituts für biologische Kybernetik (Tübingen) erzeugt worden. Grundlage bildeten dreidimensionale Laser-Scans von etwa 200 realen Gesichtern. Durch Interpolat-

tion zwischen ihnen wurde ein Gesichterraum modelliert und das zugehörige Durchschnittsgesicht berechnet.

Aus diesem Raum wählten wir vier Gesichter aus, die einander möglichst unähnlich waren. Von ihnen erzeugten wir dann Karikaturen, Antikarikaturen und Antigesichter. Diese präsentierten wir den beiden Affen in zufälliger Reihenfolge auf einem Computerbildschirm. Das eine Tier war darauf trainiert worden, per Hebelbewegung anzugeben, welches der vier Originale es in dem dargebotenen Gesicht erkannt hat. Das andere sollte die ganze Zeit über nur einen Punkt auf dem Bildschirm fixieren. Bei beiden Makaken maßen wir während des Versuchs die Aktivitäten von Neuronen, die auf Gesichter reagieren.

Zum einen stellten wir dabei fest, dass das Aktivierungsmuster bei den zwei Affen übereinstimmte. Für das Verhalten der Neuronen spielt es demnach keine Rolle, ob das betreffende Tier sich bewusst auf das Erkennen von Gesichtern konzentriert. Offenbar handelt es sich um einen automatischen Prozess, der auch dann im Hintergrund abläuft, wenn die Aufmerksamkeit nicht darauf gerichtet ist. ▶

ANZEIGE

## Konzentrierter. Ausgeglichener. Belastbarer.

### Wunderwerk Gehirn: Wie ich meine Konzentration verbessere.



Unser Gehirn ist ein Wunderwerk der Natur: es steuert unsere Gefühle und bestimmt unsere Konzentration. Ein Netzwerk aus 100 Milliarden Gehirnzellen – und jede Zelle eine Energiequelle, die wir besser nutzen können. Für mehr Gehirnleistung und mehr Konzentration.

Unsere Konzentration ist abhängig von der Energieleistung der Mitochondrien. Diese „Kraftwerke“ in den Gehirnzellen versorgen uns jeden Tag mit neuer Energie.

Auf diese natürliche Energieproduktion der Gehirnzellen kann man heute gezielt einwirken und die **Gehirnleistung „ankurbeln“**. Genau dafür wurde **Tebonin®** mit dem

exklusiven Ginkgo-Spezial-extrakt EGb 761® entwickelt. **Tebonin®** schützt die Mitochondrien vor Leistungsabfall, ihre Energieversorgung bleibt aktiv. Selbst angegriffene Zellen können wieder regeneriert werden. So wird auf natürliche Weise Ihre **geistige Leistungsfähigkeit gesteigert**.

Nach wenigen Wochen werden Sie feststellen: Sie sind **konzentrierter und die Gedächtnisleistung nimmt zu**. Besser belastbar meistern Sie die Anforderungen des Alltags leichter und sind ausgeglichener. Kurz: Sie haben **spürbar mehr Gehirnleistung** – auch andere werden es merken. Fragen Sie noch heute Ihren Apotheker nach **Tebonin®**. Er wird Sie gerne beraten.

[www.tebonin.de](http://www.tebonin.de)

**Tebonin® intens 120 mg Wirkstoff:** Ginkgo-biloba-Blätter-Trochenextrakt **Anwendungsgebiete:** Zur Behandlung von Beschwerden bei durch altersbedingte Arterienverengung hirngorganisch bedingten geistigen Leistungsstörungen im Rahmen eines therapeutischen Gesamtkonzeptes mit den Hauptbeschwerden: Rückgang der Gedächtnisleistung, Merkfähigkeit und Konzentration, Kopfschmerzen, Schwindelgefühle, Ohrensausen. Hinweise: Bevor die Behandlung mit Ginkgo-Extrakt begonnen wird, sollte geklärt werden, ob die Krankheitsbeschwerden nicht auf einer spezifisch zu behandelnden Grunderkrankung beruhen. Zu Risiken und Nebenwirkungen lesen Sie die Packungsbeilage und fragen Sie Ihren Arzt oder Apotheker. **Dr. Willmar Schwabe Arzneimittel, Karlsruhe.** Stand: 01/07 T/01/07/3/1

## Tebonin®

Mehr Energie für das Gehirn



**Stärkt Gedächtnis und Konzentration.**



**Pflanzlicher Wirkstoff. Gut verträglich.**



Mit der Natur. Für die Menschen.

Dr. Willmar Schwabe Arzneimittel  
[www.tebonin.de](http://www.tebonin.de)  
[www.schwabe.de](http://www.schwabe.de)

▷ Das zweite Ergebnis betraf die Reaktion der einzelnen Nervenzellen. Jede zeigte, wie erwartet, ein anderes Aktivierungsmuster. Dennoch gab es grundlegende Gemeinsamkeiten. So sprach eine bestimmte Zelle meist auf ein oder zwei Gesichter besonders stark an; von den anderen wurde sie schlechter oder gar nicht aktiviert (Bild rechts). Das ist auf den ersten Blick noch mit einer beispielbasierten Enkodierung vereinbar.

Die genauere Analyse spricht jedoch gegen dieses Modell. Wie wir nämlich feststellten, nahm die Reaktion eines Neurons in der Regel mit dem Karikaturlevel zu. Am geringsten fiel sie beim Durchschnittsgesicht aus. Demnach repräsentiert die neuronale Aktivität bei gegebener Richtung im Gesichtsraum die Distanz vom Durchschnittsgesicht –

in Einklang mit dem Modell der normbasierten Enkodierung. Auch für die gesamte Neuronenpopulation beobachteten wir eine selektive Reaktion in ausgewählten Richtungen im Gesichtsraum und im Mittel einen monotonen Anstieg mit dem Karikaturlevel. Nur bei einer kleinen Gruppe von Neuronen verhält es sich umgekehrt: Sie sprechen am stärksten auf das Durchschnittsgesicht an und werden umso weniger erregt, je größer die Abweichung davon ist.

### Durchschnitt als Maßstab

Dieses Verhalten gesichtsselektiver Nervenzellen kann auch die eingangs erwähnten Beobachtungen erklären. Beim Karikatureffekt ist das evident; denn wenn Neuronen auf Karikaturen stärker ansprechen als auf die Originalgesichter,

werden diese natürlich besser erkannt. Unsere Ergebnisse bieten aber auch einen Ansatz, um zu verstehen, wieso wir Angehörige fremder Rassen schlechter unterscheiden können. Da wir mit ihnen kaum in Kontakt kommen, haben wir vermutlich kein entsprechendes Durchschnittsgesicht gelernt. Vielmehr benutzen wir dasjenige der eigenen Rasse als Standard. Es liegt aber im Gesichtsraum relativ weit von diesen fremdartigen Gesichtern entfernt. Die Differenzvektoren zum Durchschnittsgesicht weisen daher alle in ähnliche Richtungen und sind ziemlich groß, was die Unterscheidung erschwert.

Auch Untersuchungen anderer Gruppen am Menschen unterstreichen die spezielle Rolle des Durchschnittsgesichts. So fand ein Team um Gunter Löffler von der Glasgow Caledonian University in einem

## Springers Einwüfe

### Peinliche Befragung

Dient Folter der Wahrheitsfindung?

**FOLTER IST VERBOTEN.** Artikel 5 der Menschenrechtserklärung der Vereinten Nationen sowie Artikel 3 der Europäischen Menschenrechtskonvention ächten sie ausdrücklich. Dennoch werden seit einigen Jahren – nicht zuletzt seit dem Anschlag auf das World Trade Center im September 2001 – Ausnahmen diskutiert, insbesondere unter dem Stichwort Rettungsfolter: Was tun, wenn ein verhafteter Terrorist eine tickende Bombe an unbekanntem Ort versteckt hat? Darf man ihn gewaltsam zur Preisgabe des Verstecks zwingen, um den Tod unschuldiger Bombenopfer zu verhindern? Oder darf man – wie im Herbst 2002 in Frankfurt geschehen – einem mutmaßlichen Entführer »massive Schmerzzufügung« androhen, um dadurch vielleicht das Leben des Entführten zu retten?

Da im »Krieg gegen den Terrorismus« offenbar von Anfang an folterähnliche Verhörmethoden praktiziert wurden, stellt sich – abgesehen von moralischen und juristischen Einwänden – die Frage nach deren Wirksamkeit. Eine Antwort gibt jetzt die Studie »Educing Information« (etwa: Wie man Informationen entlockt) des Intelligence Science Board, eines Wissenschaftlergremiums im Auftrag der US-Geheimdienste (im Internet unter [www.fas.org/irp/dni/educing.pdf](http://www.fas.org/irp/dni/educing.pdf)).

In dem 374 Seiten langen Bericht wird einleitend klargestellt, man wolle juristische oder ethische Probleme bewusst ausklammern; die Frage laute: »Was wirkt?« Bei jedem Verhör gehe es doch darum, die Wahrheit herauszufinden, aber erstaunlicherweise seien Verhörmethoden praktisch nie wissenschaftlich darauf untersucht worden, wie wirksam sie dieses Ziel erreichten.

Das Gesamturteil fällt vernichtend aus. Im Grunde spielen die Beteiligten eines Verhörs nur nach, was sie aus Fernsehserien

kennen. Das Erfahrungswissen der Vernehmenden – »ich sehe, wann der Verdächtige lügt« – ist ungesichert. Einschüchterung, von Quälerei ganz zu schweigen, wirkt meist kontraproduktiv. Sie verstärkt zunächst nur den Widerstand des Opfers oder bringt es schließlich dazu, aus Angst alles auszusagen, was die Befragung verkürzt – ob wahr oder falsch.

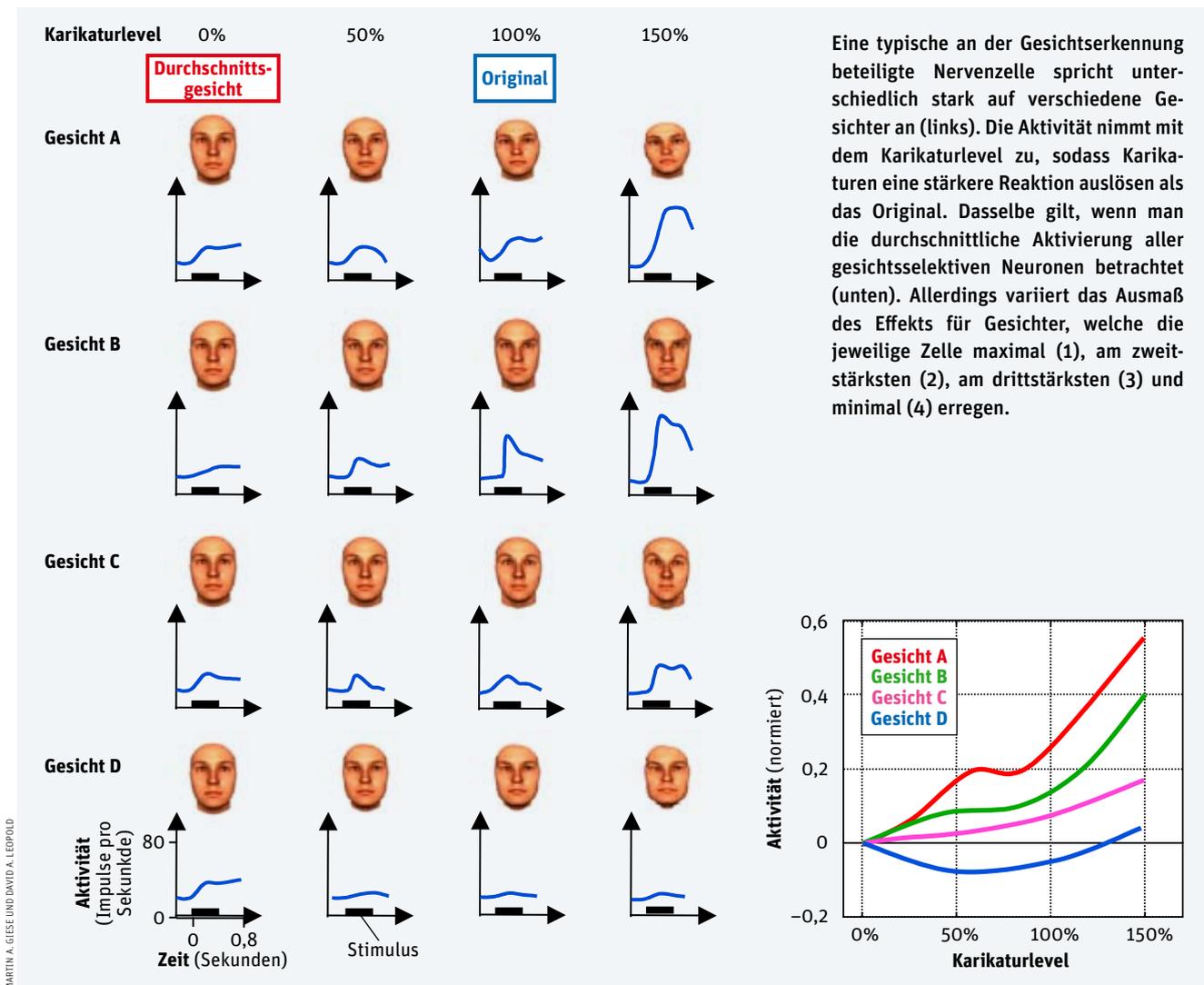
Wie es sich für eine wissenschaftliche Studie gehört, kommen die Autoren zu dem Schluss, das Gebiet verlange nach weiterer gründlicher Untersuchung. Das hat unterdessen in den USA zu einem pikanten Streit unter Psychologen und Psychiatern geführt, ob es überhaupt ethisch vertretbar sei, über Verhörmethoden zu forschen (*Nature*, Bd. 445, S. 349).

Ich meine: Ja. Eine rationale Behandlung des Themas führt offenbar zu humaneren Praktiken. Folter taugt zur Wahrheitsfindung heute nicht besser als einst im Mittelalter die »peinliche Befragung«. Wie schon der große Skeptiker Bertrand Russell meinte: »Kein Mensch behandelt ein Auto so töricht wie seinen Mitmenschen. Wenn das Auto nicht fährt, schreibt er dieses ärgerliche Verhalten nicht der Sünde zu; er sagt nicht: ›Du böses Auto, ich gebe dir erst Benzin, wenn du wieder fährst.‹ Er versucht den Fehler zu finden und zu reparieren.«

Vernünftig sind offenbar positiv verstärkende Gesprächsmethoden: Statt Schweigen zu bestrafen, wird die wahrhaftige Aussage belohnt, etwa durch Hafterleichterung oder -verkürzung. In diesem Sinn untersucht die Studie ausgiebig spieltheoretische und wirtschaftstheoretische Modelle, die das Aushandeln von beiderseitigen Vorteilen beschreiben. Vielleicht würde das ideale Verhör einer psychoanalytischen Redekur ähneln, die verdrängte Bewusstseinsinhalte – in diesem Fall bewusst unterdrücktes Wissen – zu Tage fördert.



Michael Springer



Eine typische an der Gesichtserkennung beteiligte Nervenzelle spricht unterschiedlich stark auf verschiedene Gesichter an (links). Die Aktivität nimmt mit dem Karikaturlevel zu, sodass Karikaturen eine stärkere Reaktion auslösen als das Original. Dasselbe gilt, wenn man die durchschnittliche Aktivierung aller gesichtsselektiven Neuronen betrachtet (unten). Allerdings variiert das Ausmaß des Effekts für Gesichter, welche die jeweilige Zelle maximal (1), am zweitstärksten (2), am drittstärksten (3) und minimal (4) erregen.

fMRT-Experiment ebenfalls einen Anstieg der Aktivität in der Region FFA mit dem Karikaturlevel (*Nature Neuroscience*, Bd. 8, S. 1386). Zudem ergaben jüngste psychophysische Experimente von Gillian Rhodes und Linda Jeffery von der University of Western Australia in Perth, dass starke Gesichtsnacheffekte tatsächlich nur bei echten Antigesichtern auftreten – also bei solchen, die auf der Verlängerung einer Linie vom Originalgesicht zum Durchschnittsgesicht liegen (*Vision Research*, Bd. 46, S. 2977).

Die Hypothese der normbasierten Enkodierung von Gesichtern wird also durch eine Reihe neuer Resultate gestützt. Wirklich bewiesen ist sie damit aber noch nicht. Um zu einer endgültigen Entscheidung zu gelangen, müssten Theoretiker versuchen, die neuen Ergebnisse mit Modellen zu reproduzieren, die entweder auf einer beispiel- oder einer normbasierten Enkodierung von Gesichtern beruhen. Das Ergebnis wäre

über die Gesichtserkennung hinaus von Interesse. Wie sich herausgestellt hat, verhalten sich Neurone, die auf andere geometrische Formen reagieren, nämlich ganz ähnlich. Das deutet darauf hin, dass die Prinzipien der neuronalen Repräsentation von Gesichtern von allgemeinerer Bedeutung sind.

**Martin A. Giese** ist promovierter Neuroinformatiker. Er leitet am Hertie-Institut für klinische Hirnforschung in Tübingen die Arbeitsgruppe für Handlungsrepräsentation und Lernen. **David A. Leopold** ist Leiter der Unit of Cognitive Neurophysiology and Imaging am National Institute of Mental Health in Bethesda (Maryland).

ANZEIGE

## NEUGIER UND VERANTWORTUNG –

FORSCHUNG FÜR DIE GESELLSCHAFT VON MORGEN

**MIT PROF. DR. LORRAINE DASTON**  
MPI für Wissenschaftsgeschichte, Berlin

**PROF. DR. GISELA LÜCK**  
Didaktik der Chemie  
Universität Bielefeld

**PROF. DR. DR. FRANZ JOSEF RADERMACHER**  
Institut für anwendungsorientierte  
Wissensverarbeitung, Ulm

**UND ANDERE ...**

Anmeldung:  
www.gruene-bundestag.de → Service → Termine  
forschungskongress@gruene-bundestag.de  
T: 030/227 51066, F: 030/227 56058

**23./24. MÄRZ 2007**  
KONGRESS IM  
LUDWIG ERHARD  
HAUS, BERLIN



SPEKTRUM-INTERVIEW ZUM KLIMAREPORT

## »Bis zur eisfreien Arktis ist es nur eine Frage der Zeit«

Der Anfang Februar herausgebrachte vierte Klimareport des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) liefert die aktuellen Prognosen zum globalen Klimawandel. Der Klimaforscher Peter Lemke vom Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven erklärt, was wir von der Zukunft zu erwarten haben – und wie wir den Entwicklungen vielleicht noch entgegenwirken können.

**Herr Professor Lemke, Sie haben als einer von über 500 Wissenschaftlern an dem aktuellen Klimabericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) mitgewirkt. Was ist die Kernaussage?**

Bis zum Jahr 2100 wird sich die globale Temperatur sehr wahrscheinlich im Mittel um 1,8 bis 4 Grad Celsius erhöhen, je nachdem wie viel Kohlendioxid wir in Zukunft produzieren. Das verursacht Gletscherschmelzen, sodass der Meeresspiegel steigt. Bis zum Ende dieses Jahrhunderts erwarten wir einen Anstieg um 18 bis 59 Zentimeter. Zudem gibt es Anzeichen dafür, dass extreme Wetterereignisse zunehmen werden: Stürme gewinnen an Intensität, Niederschläge fallen stärker aus.

**Was verursacht den Klimawandel?**

Die Erwärmung der letzten 40 Jahre lässt sich allein mit natürlichen Prozessen nicht erklären – wohl aber mit den Emissionen von Treibhausgasen durch den Menschen. Innerhalb von 250 Jahren haben wir den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre so stark verändert, wie es üblicherweise in einem Zeitraum zwischen einer Eiszeit und einer Warmzeit in 100 000 Jahren geschieht. Selbst wenn wir ab heute überhaupt kein Kohlendioxid mehr in die Atmosphäre pusteten würden, hätten die aktuellen Emissionen noch solche Nachwirkungen, dass sich die Temperatur um ein weiteres halbes Grad erhöhen würde.

**Haben sich die Prognosen seit dem letzten IPCC-Report von 2001 verändert?**

Der letzte Klimabericht gab bei der Erderwärmung bis 2100 eine Spanne von 1,5 bis

5,8 Grad Celsius an, der Meeresspiegelanstieg wurde auf 9 bis 88 Zentimeter geschätzt. Diese großen Spannen rührten hauptsächlich von zwei Unsicherheiten her: Zum einen wissen wir nicht, wie viel Energie wir tatsächlich in Zukunft verbrauchen werden. Entsprechend können wir nicht genau vorhersagen, wie hoch der zusätzliche CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre bis zum Ende des Jahrhunderts sein wird. Zum anderen ist zu bedenken, dass die Klimamodelle, die es gibt, unterschiedlich sind und zu verschiedenen Szenarien kommen. Für die globale Temperaturerhöhung ist die Spanne der Vorhersagen deshalb seit dem letzten IPCC-Bericht in etwa gleich geblieben, für die Meeresspiegelerhöhung mit 18 bis 59 Zentimeter jedoch deutlich kleiner geworden. Außerdem wurden für andere Klimaparameter detailliertere Aussagen möglich.

**Woran liegt das?**

Wir konnten auf eine wesentlich größere Anzahl von Klimasimulationen zurückgreifen, die Analysemethoden haben sich verbessert und durch leistungsfähigere Computer sind regional verfeinerte Modelle zum Einsatz gekommen. Außerdem konnten wir die Prognosemodelle durch neue Beobachtungen optimieren. Dadurch sind unsere Vorhersagen nun erheblich umfangreicher und präziser als noch vor fünf Jahren. Dennoch haben sich einige Mittelwerte insgesamt nur wenig verschoben.

**Sie selbst haben für den vierten IPCC-Report ein Kapitel über Schnee, Eis und Permafrost koordiniert, das auch die Arktis behandelt. Was hat sich dort verändert?**



MIT FROU. GEN. VON PETER LEMKE

**Peter Lemke – hier vor der »Polarstern« – untersucht den Zusammenhang zwischen Klimawandel und Polareis.**

In den letzten 50 Jahren hat sich die Temperatur in der Arktis um 1,1 Grad Celsius erhöht, während die globale Mitteltemperatur in diesem Zeitraum nur um 0,5 Grad gestiegen ist. Als Folge der starken Erwärmung in der Arktis ging das dortige Meereis pro Jahrzehnt jeweils um 2,7 Prozent zurück. Seit 1973, dem Beginn regelmäßiger Aufzeichnungen zur Ausdehnung der polaren Eisdecke, ist das arktische Eis im Sommer sogar um 22 Prozent geschrumpft.

Ein anderes Problem ist die zunehmende Erosion der arktischen Küstenränder. Denn bei geschlossener Eisdecke bleibt auch der Seegang gering. Wenn das Eis jedoch über einen Großteil des Jahres verschwindet, kann jeder Sturm dort starke Wellen produzieren und die Küsten abtragen. In Sibirien und Alaska wird schon heute so viel Küstenfläche vom Meer zerstört, dass ganze Dörfer umgesiedelt werden müssen.

**Wieso erwärmt sich der Nordpol deutlich stärker als der Rest des Globus?**

Das Abschmelzen des Eises bewirkt eine sich selbst verstärkende Rückkopplung: Wenn die Sonne auf die weiße Eisfläche scheint, wird die meiste Strahlung reflektiert. Geht aber das Meereis zurück, kommt darunter ein dunkler Ozean zum Vorschein. Der absorbiert mehr Sonnenenergie, erwärmt sich und verstärkt so die Schmelzefekte. Das ist der so genannte Temperatur-Albedo-Feedback.

### Sind die Folgen der Klimaerwärmung beim Südpol ähnlich gravierend?

In der Antarktis ist das merkwürdigerweise anders. Dort ist die Erwärmung noch nicht zu spüren, abgesehen von der Antarktischen Halbinsel, die weit nach Norden reicht. Das Meereis dehnt sich seit 25 Jahren insgesamt gesehen sogar leicht aus. Die Gründe dafür kennen wir noch nicht genau. Aber die Südhemisphäre ist allgemein kälter als die Nordhalbkugel, weil sie von dem riesigen antarktischen Eisschild abgekühlt wird. Er hat etwa 4000 Kilometer Durchmesser und ist an den höchsten Stellen über vier Kilometer mächtig.

### Welche Auswirkungen haben die Veränderungen in der Arktis auf das Klima?

Ozeanströmungen und Windsysteme werden durch den Temperaturgegensatz von Tropen und Polargebieten gesteuert. Wenn sich dieser Gegensatz verändert, dann wird sich das auch auf die Windsysteme und die Ozeanströmungen auswirken. So beobachtet man schon heute, dass sich mit dem Zurückweichen des Eises die Zugbahnen der Tiefdruckgebiete nach Norden verschieben.

Außerdem wird in den Polargebieten das Meerwasser abgekühlt. Das kältere Wasser sinkt nach unten, Tiefenwasser entsteht und treibt eine globale ozeanische Zirkulation an. Diese Umwälzprozesse könnten sich abschwächen. Was zugleich hieße, dass sich das System der Golfstromausläufer ändern würde.

### Was hätte das zur Folge?

Nun, zumindest nicht eine solche Abkühlung der Nordhemisphäre, wie sie etwa der Kinofilm »The Day after Tomorrow« zeigt. Das ist Unfug. Dass der Golfstrom sich abschwächt, liegt ja erst einmal an der starken Erwärmung, wegen der Grönland einen Großteil seines Eises verliert. Da wir momentan von Temperatursteigerungen von 2 bis 4 Grad in den nächsten hundert Jahren ausgehen, würde eine Abschwächung des

Golfstroms lediglich eine etwas verringerte Erwärmung in Europa bedeuten.

### Wie sehen Ihre Prognosen für die Arktis aus, wenn sich an den aktuellen Bedingungen nichts ändert?

Nach allen Szenarien verschwindet das Meereis in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts im Sommer fast vollständig. Wir werden über einen längeren Zeitraum des Jahres freies Wasser in der Arktis und damit auch eine freie Schiffroute nach Japan haben. Das freut natürlich die Schifffahrt. Erst einmal bedeutet der Rückgang des Meereises aber ebenso, dass die verbleibenden Eisschollen freier beweglich sind und die Schifffahrtswege bedrohen können. Ohne Eisbrecher wird man die Arktis vermutlich deshalb auch in näherer Zukunft nicht durchqueren können. Es ist jedoch nur eine Frage der Zeit, bis die Nordpolarregion im Sommer eisfrei ist.

Für die Eisbären ist das natürlich eine Katastrophe. Doch das Ökosystem dürfte sich insgesamt anpassen. Der Eisbär wird sein Refugium verkleinern, seine Zahl wird abnehmen. Dafür werden sich andere Arten vom Süden her nach Norden wagen und sich neue Nahrungsquellen erschließen. Das spezielle, an das Meereis angepasste Ökosystem wird jedoch deutlichen Schaden nehmen.

### Wo besteht akuter Handlungsbedarf, wenn wir den Klimawandel stoppen wollen?

Die Ursachen des Klimawandels sind ja eigentlich simpel: Wenn man sich den Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre für die letzten 650 000 Jahre ansieht, dann lag der bei Eiszeiten etwa bei 180 parts per million oder kurz ppm, in einer Warmzeit bei etwa 280 ppm. Wir haben inzwischen 380 ppm erreicht, und es ist ganz offensichtlich, dass wir in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts bei etwa 550 ppm landen werden. Ich glaube nicht, dass wir diesen Wert noch deutlich verringern können. Unsere Aufgabe ist nun schlicht zu verhindern, dass zu viel

CO<sub>2</sub> und andere Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen.

### Was sollte man konkret tun?

Man kann natürlich viel beim Energieverbrauch sparen, indem man die Ressourcen effektiver nutzt. Das verschafft etwas Luft. Daneben müssen wir aber neue Energieformen entwickeln. Denn der Rückgriff auf Windräder oder Atomkraftwerke wird uns nicht weiterbringen. Das eine ist nicht effektiv genug, das andere birgt zu hohe Risiken. Die Mittel, die wir bisher zur Verfügung haben, reichen für die Erforschung alternativer Technologien nicht aus. Deshalb muss mehr Geld in diesen Sektor gesteckt werden.

Auch die Suche nach neuen Energieformen und entsprechenden Technologien sollte verstärkt werden. Man könnte beispielsweise in manchen Regionen die Erdwärme besser nutzen oder mit der Sonnenenergie arbeiten. Eine andere Möglichkeit ist, das Kohlendioxid abzufangen und unter der Erde zu bunkern. Auch das würde erst einmal etwas Spielraum verschaffen. Aber hier gibt es noch jede Menge offene Fragen. Es ist etwa noch völlig ungeklärt, wie sicher solche CO<sub>2</sub>-Bunker wären und wie man sie richtig verschließen könnte.

### Fühlen Sie sich als Klimaforscher von der deutschen Politik ernst genommen?

Ich denke, dass man hier zu Lande weiß, was der Klimawandel bedeutet. Aber unsere Politiker haben auch noch mit anderen Problemen wie der Arbeitslosigkeit zu kämpfen. Die Erderwärmung ist dann nicht immer das Nächstliegende. Vielleicht wird sich erst etwas ändern, wenn die ersten Extremereignisse zugeschlagen haben.

Das Gespräch führte **Tanja Krämer**, freie Wissenschaftsjournalistin in Bremen. Eine ausführlichere Fassung ist unter [www.wissenschaft-online.de/artikel/863806](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/863806) bei **spektrum** direkt erschienen.

▶ Von 1979 bis 2005 ist die Ausdehnung des Meereises in der Arktis im Sommer um 22 Prozent zurückgegangen.



BEIDE AUFNAHMEN: NASA