

## Die physikalische Realität auf dem Prüfstand

**Spe.** Die meisten Menschen gehen ganz selbstverständlich davon aus, dass es eine vom Beobachter unabhängige Realität gibt. Wenn ein Physiker bei einer Messung feststellt, dass ein Ball diese oder jene Geschwindigkeit hat, so ist die Annahme plausibel, dass diese Geschwindigkeit eine Eigenschaft ist, die dem Ball auch ohne Messung zukommt. Dass diese Auffassung mit Vorsicht zu geniessen ist, wenn es sich bei den Objekten um Atome oder Photonen handelt, wurde Anfang der 1980er Jahre deutlich. Damals zeigte sich bei Messungen an Paaren von Photonen, dass sich die Vorstellung einer vom Beobachter unabhängigen Realität nur aufrechterhalten lässt, wenn man die gleichermassen plausible Annahme der Lokalität fallenlässt. Diese besagt, dass sich genügend weit entfernte Objekte wegen der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit nicht unmittelbar beeinflussen können. Ein neues Experiment der Arbeitsgruppe von Markus Aspelmeyer und Anton Zeilinger von der Universität Wien zeigt nun, dass auch eine «geisterhafte Fernwirkung» nicht ausreicht, um den Realitätsbegriff der klassischen Physik in die Quantenwelt hinüberzuzureiten.<sup>1</sup>

Es ist ein Charakteristikum der Quantentheorie, dass sie nur Wahrscheinlichkeitsaussagen macht und das Ergebnis einer Messung nicht exakt vorhersagen kann. Albert Einstein sah darin einen Hinweis, dass die Quantentheorie unvollständig ist und durch eine Theorie ersetzt werden muss, in der die Eigenschaften eines Quantenobjekts durch verborgene Parameter determiniert werden. So glaubte er, die klassische Realitätsvorstellung beibehalten zu können. Selbstredend ging Einstein davon aus, dass eine solche Theorie mit verborgenen Parametern lokal zu sein habe, also ohne Fernwirkung auskommen müsse.

In den 1960er Jahren erkannte dann der britische Physiker John Bell, dass ein Widerspruch zwischen der Quantentheorie und Einsteins Vorstellungen besteht. Dieser sollte sich dann äussern, wenn man eine Quelle nimmt, die verschränkte Photonenpaare erzeugt, und dann die Polarisation der voneinander wegfliegenden Photonen entlang ganz bestimmter Richtungen misst. In diesem Fall sagt die Quantentheorie eine stärkere Korrelation der Messergebnisse voraus als alle lokalen Theorien mit verborgenen Parametern. Als die ersten Bell-Experimente durchgeführt wurden, ging die Quantentheorie als strahlende Siegerin daraus hervor. Also musste entweder das Einsteinsche Bild von der Realität falsch sein oder die Annahme, dass sich weit entfernte Objekte nicht unmittelbar beeinflussen.

Aber welches dieser beiden Postulate sollte man opfern? Bis vor kurzem waren die meisten Physiker der Ansicht, dass es genüge, die Forderung der Lokalität aufzugeben, um Theorien mit verborgenen Parametern in Einklang mit der Quantentheorie zu bringen. Im Jahr 2003 zeigte Anthony Leggett von der University of Illinois in Urbana-Champaign in einer Arbeit einen Weg auf, das zu überprüfen. Er leitete einen ähnlichen Widerspruch her wie Bell – diesmal allerdings zwischen der Quantentheorie und einer bestimmten Klasse von nichtlokalen Theorien mit verborgenen Parametern. Diese Theorien fussen auf der plausibel klingenden Annahme, dass jedes Photon eine definierte Polarisation besitzt, unabhängig davon, ob man es beobachtet oder nicht. Diese Polarisation soll zusammen mit einem nichtlokalen Einfluss durch das jeweils andere Photon den Ausgang einer Polarisationsmessung festlegen.

Die Wiener Quantenphysiker formulierten die theoretischen Überlegungen von Leggett nun so um, dass sie experimentell überprüft werden konnten. Der Test bestätigte einmal mehr die Quantentheorie. Es reicht also nicht, die Lokalitätsforderung aufzugeben. Offensichtlich ist bereits die Annahme zu stark, dass Photonen bestimmte Eigenschaften – in diesem Fall eine Polarisation – besitzen, die das Messergebnis mitbestimmen. Welche philosophischen Implikationen das habe, sei ihm selbst noch nicht ganz klar, gibt Zeilinger freimütig zu.

<sup>1</sup> Nature 446, 866/867; 871–875 (2007).

## Spektakuläre Baumfossilien

**Spe.** Die frühe Evolution der Bäume gibt den Paläobotanikern noch immer Rätsel auf. Zwar wurden bereits 1870 in Gilboa, New York, fossile Baumstümpfe aus dem mittleren Devon gefunden, das vor 397 Millionen Jahren begann und vor 385 Millionen Jahren endete; und in Goé in Belgien fand man fossile Zweige aus der gleichen Epoche. Die ältesten Fossilien, die die Rekonstruktion eines ganzen Baumes erlaubten, stammen bisher jedoch aus der anschliessenden Epoche, dem späten Devon. Nun haben amerikanische und britische Forscher nahe Gilboa erstmals fossile Bäume aus dem mittleren Devon gefunden, bei denen Teile von Krone und Wurzeln erhalten sind. Wie sie in «Nature» schreiben, waren die Bäume wahrscheinlich mindestens acht Meter hoch und Baumfarnen oder Palmen ähnlich: Sie hatten lediglich kurze Zweige an der Spitze des Stammes, die immer wieder abgeworfen und ersetzt wurden, und ihre Wurzeln waren kurz und unverzweigt.<sup>1</sup> Die im späten Devon verbreiteten *Archaeopteris*-Bäume mit ihren langen, verzweigten Wurzeln und mitwachsenden Ästen hingegen ähnelten den heutigen Nadelbäumen.

<sup>1</sup> Nature 446, 904–907 (2007).



Nordlichter machen das Erdmagnetfeld sichtbar – hier eines 2005 auf Island.

KEYSTONE / SCIENCE PHOTO LIBRARY

## Unerwartet altes Erdmagnetfeld

*Bereits vor 3,2 Milliarden Jahren eine ähnliche Feldstärke?*

Winzige Silikate in 3,2 Milliarden Jahre altem Gestein haben die Rekonstruktion des Erdmagnetfeldes zu jener Zeit ermöglicht. Die Studie weist darauf hin, dass dieses bereits etwa 700 Millionen Jahre früher als bisher angenommen ähnlich stark wie heute war.

Eine Untersuchung von 3,2 Milliarden Jahre alten Feldspat- und Quarzkristallen legt nahe, dass es schon zu jener Zeit ein Erdmagnetfeld ähnlich dem heutigen gegeben haben muss.<sup>1</sup> Den Zeitpunkt zu kennen, zu dem sich das Magnetfeld der Erde ausbildete, würde es erleichtern, die Entwicklung der Erdatmosphäre und der Umwelt der frühen Erdoberfläche zu verstehen. Auch würde man mehr Klarheit darüber erhalten, ab wann etwa das Erdinnere unseren heutigen Vorstellungen entsprach, wonach Konvektionsströme im flüssigen Erdkern das Erdmagnetfeld erzeugen. Diese sollen durch Temperaturunterschiede zwischen dem festen Erdkern und dem Erdmantel angetrieben werden. Bis anhin hatte man nur Hinweise darauf gefunden, dass es bereits vor etwa 2,5 Milliarden Jahren ein Erdmagnetfeld ähnlich stark wie das heutige gegeben hatte. Untersuchungen älterer Gesteine liessen jedoch vermuten, dass die Stärke des Erdmagnetfelds vor jener Zeit maximal zehn Prozent des heutigen Feldes betrug.

### Winzige magnetisierte Einschlüsse

Die Rekonstruktion eines Magnetfeldes, das älter als 2,5 Milliarden Jahre ist, gestaltete sich enorm schwierig, da Umwandlungen des Gesteins – etwa durch tektonische Prozesse – im Laufe der Jahrmilliarden immer wieder magnetische Einschlüsse hinterlassen hatten, die die ursprüngliche Magnetisierung überprägen. John Tarduno von der Abteilung für Erd- und Umweltwissenschaften der Universität Rochester hat nun mit Kollegen einzelne Feldspat- und Quarzkristalle aus Graniten des 3,2 Milliarden Jahre alten sogenannten Kaapvaal-Kraton in Südafrika extrahiert. Laut Tarduno enthalten diese besonders alterungsresistente Silikatkristalle winzige Einschlüsse von Magnetisierungen. Wenn sie klein genug sind – zwischen 0,05 und 1 tausendstel Millimeter –, sollten sie sogar nur einen einzigen solchen Einschluss in sich bergen. Dieser Einschluss trägt dann mit höchster Wahrscheinlichkeit die ursprüngliche Magnetisierung in sich. In grösseren Kristallen dagegen könne die Magnetisierung mehrere Richtungen aufweisen, erläutert Tarduno. Um zudem sicherzugehen, dass nicht spätere, sekundäre Magnetisierungen gemessen werden, erhitzen die Forscher die Silikate stufenweise mit einem Kohlendioxidlaser auf etwa 400 Grad. Sie gehen dabei davon aus, dass spätere Magnetisierungen nur bei niedrigeren Temperaturen stattfinden und folglich bei einer derartigen Erwärmung einzig die ursprüngliche übrig bleibt.

Es zeigte sich anhand der Messungen, dass die damals vorherrschende Feldstärke etwa ähnlich der heutigen gewesen sein muss. Die Wissenschaftler interpretieren ihre Ergebnisse jedoch eher vorsichtig und ziehen einzig den Schluss, dass das Erdmagnetfeld vor 3,2 Milliarden Jahren zumindest halb so stark gewesen sei wie heute. Interessanterweise fanden sie zudem in einem Bereich des Granits eine um 180 Grad gedrehte Ausrichtung des Erdmagnetfeldes. Daraus lesen die Forscher ab, dass es schon damals gelegentlich zu einer Umkehrung des Erdmagnetfeldes gekommen war – ein Phänomen, das aufgrund der Magnetisierung in den Gesteinsabfolgen der Erdgeschichte in den letzten Jahrmillionen etwa alle 500 000 Jahre aufgetreten ist.

Laut David Dunlop von der Abteilung für Physik der Universität Toronto, der in der Fachzeitschrift «Nature» einen Kommentar zur Studie

verfasst hatte, ist die Arbeit der Wissenschaftler überzeugend.<sup>2</sup> Die Resultate von nahezu allen Proben hätten ungewöhnlich geringe Streubreiten aufgewiesen. Die prophylaktische Halbierung der minimalen Feldstärke hält er deshalb für eine «Überkorrektur».

### Schutzschild gegen den Sonnenwind

Ein weiteres Resultat der Messungen ist, dass sie ermöglichen, den Zeitpunkt, an dem sich ein stabiles, die Erde gegen die Sonnenwinde schützendes Magnetfeld entwickelte, stark einzugrenzen. Da eine Studie aus dem Jahr 2005 an den Isotopen von Stickstoff und Argon an Mondgestein darauf hinweist, dass vor 3,9 bis 3,8 Milliarden Jahren noch kein Erdmagnetfeld bestanden haben dürfte, müsste dieses sich somit zwischen vor 3,9 und 3,2 Milliarden Jahren gebildet haben. In diesem Zeitraum hätten demnach im schalenartig aufgebauten Erdinnern (dem Erdmantel und dem flüssigen und festen Teil des Erdkerns) innerhalb des flüssigen Kernbereiches Konvektionsströme eingesetzt, die das Magnetfeld entstehen liessen und bis heute aufrechterhalten. Zudem spielt das Erdmagnetfeld eine bedeutende Rolle bei der Entstehung von Leben auf unserem Planeten. Ein Fehlen des Erdmagnetfeldes kann zu genetischen Mutationen führen, die die Evolution beeinflussen. Auch dient das Erdmagnetfeld als Schutzschild für die Atmosphäre der Erde; diese würde sonst von den Sonnenwinden weggetragen.

Simone Ulmer

<sup>1</sup> Nature 446, 657–660; <sup>2</sup> ebenda 623–625 (2007).

## Selbstgespräche bei Bohnen

*Duftstoffe aktivieren das Abwehrsystem*

Zu den faszinierendsten Strategien von Pflanzen, Insektenfrass einzuschränken, gehört die Kommunikation über flüchtige organische Verbindungen. Von einer betroffenen Pflanze ausgesandt, werden diese von Nachbarpflanzen wahrgenommen und versetzen deren Abwehrmechanismen in Alarmbereitschaft. Deutsche Forscher konnten jetzt zeigen, dass dieser Mechanismus auch innerhalb ein und derselben Pflanze funktioniert.<sup>1</sup>

Limabohnen (*Phaseolus lunatus*) produzieren bei Käferbefall auf ihren Blättern Nektar, der als Lockstoff für räuberische Insekten fungiert und dadurch zu einer biologischen Bekämpfung der Schädlinge führt. Wie Martin Heil und Juan Carlos Silva Bueno von der Universität Duisburg-Essen nun bei Freilandversuchen in Mexiko zeigen konnten, wird die Produktion des Blattnekters durch eine komplexe Mischung flüchtiger Signalstoffe wie Kohlenwasserstoff- oder Fettsäureverbindungen ausgelöst. Dabei reicht es aus, durch Insektenfrass geschädigte Blätter in die unmittelbare Nähe von unbeschädigten Blättern zu bringen, um Letztere zur Bildung von Nektar anzuregen. In einem Kontrollversuch verhinderten die Forscher die Freisetzung der Signalstoffe, indem sie die angefressene Pflanze in eine luftdichte Hülle aus Plastic verpackten; in diesem Fall erhöhte die Nachbarpflanze die Nektarproduktion ihrer (intakten) Blätter nicht.

Doch nicht nur benachbarte Pflanzen profitieren von der Vorwarnung. Tatsächlich deuten die Ergebnisse der Essener Forscher auch darauf hin, dass die Freisetzung der flüchtigen Signalstoffe dazu dient, beim Befall einer Pflanze mit Schädlingen die noch schädlingfreien Blätter ebendieser Pflanze zu warnen und bei ihnen für die schnelle Aktivierung der Nektarproduktion zu sorgen. Dies steht im Gegensatz zur bisherigen Auffassung, nach der dies vor allem durch den Transport von Signalstoffen in den Leitungsbahnen der betroffenen Pflanze geschieht.

Daniel Dreesmann

<sup>1</sup> PNAS Online-Publikation vom 7. März 2007 (doi: 10.1073/pnas.0610266104).

## Antidepressiva bei Kindern

*Selbstmordgedanken nehmen leicht zu*

Antidepressiva scheinen die Bildung von Selbstmordgedanken bei schwermütigen Kindern und Jugendlichen weniger stark zu fördern, als dies in letzter Zeit befürchtet worden ist; zugleich dürften die Medikamente aber auch nicht sonderlich wirksam sein. Dies geht aus einer neuen Untersuchung hervor, in der die Daten von 27 einschlägigen Studien ausgewertet worden sind.<sup>1</sup> Rund 3000 der darin erfassten jungen Patienten litten an Depressionen, die übrigen 2000 an Zwangs- und Angststörungen.

Wie die Analyse zeigt, konnte mit den eingesetzten Antidepressiva die Schwermut wenigstens gut beherrscht werden als die Symptome von Zwangs- und Angststörungen. Ein Grund dafür war, dass die depressiven Kinder und Jugendlichen in den Studien auch auf eine Scheintherapie erstaunlich gut ansprachen. Von suizidalen Gedanken wurden allerdings 2 Prozent der mit Antidepressiva und 1 Prozent der mit Placebo-Pillen behandelten jungen Patienten geplagt; bei den Kindern und Jugendlichen mit Zwangs- und Angststörungen waren es 1 Prozent nach Einnahme von Antidepressiva und 0,2 bis 0,3 Prozent nach Placebo. Bei den Medikamenten handelte es sich meist um einen Vertreter der – aufgrund der erwähnten Sicherheitsbedenken vermehrt ins Geredekommene – selektiven Serotonin-Wiederaufnahme-Hemmer.

Antidepressiva haben somit das Auftreten von suizidalen Phantasien tendenziell begünstigt. Der festgestellte Effekt war allerdings nicht sehr gross und hatte in keinem Fall schwerwiegende Folgen. Gleichwohl scheint es angebracht, bei der antidepressiven Behandlung von jungen Patienten besondere Vorsicht walten zu lassen. Dies umso mehr, als die Medikamente nicht immer die erhoffte Wirkung haben.

Nicola von Lutterotti

<sup>1</sup> Journal of the American Medical Association 297, 1683–1696 (2007).

## KURZMELDUNGEN

**Hormonersatztherapie fördert Eierstockkrebs.** Dass Frauen, die nach der Menopause eine Hormonersatztherapie durchführen, ein erhöhtes Risiko für Brustkrebs haben, ist seit 1992 unbestritten. Weniger klar war bisher, ob die Behandlung auch vermehrt zu Eierstockkrebs führt. In der jüngsten Auswertung der britischen «Million Women Study» hat sich nun auf 2500 bzw. 3300 Frauen, die während fünf Jahren ein Hormonersatz-Präparat einnahmen, ein zusätzlicher Krebs beziehungsweise ein zusätzlicher krebsbedingter Todesfall festgestellt lassen – unabhängig davon, ob die Frauen ein Östrogen- oder ein kombiniertes Östrogen-Progesteron-Präparat einnahmen. *Lancet, Online-Publikation vom 19. April.* ni.

**Die Flores-Menschen und die «Inselregel».** Seit auf der indonesischen Insel Flores Fossilien rund einen Meter grosser Hominiden gefunden wurden, wird diskutiert, ob diese Flores-Menschen die verzweigte Form einer *Homo*-Art waren. Denn man kennt viele grosse Tierarten, die auf isolierten Inseln immer kleiner geworden sind. Kritiker meinten allerdings, diese «Inselregel» sei auf die Flores-Menschen nicht anwendbar, da deren Proportionen von denen anderer Zwergformen abwichen. Nun haben Forscher aber Insel- und Festlandpopulationen von Primaten verglichen und festgestellt, dass die Unterschiede zwischen *Homo floresiensis* und *Homo erectus* sowie *Homo sapiens* sich im selben Rahmen bewegen wie die zwischen den Primatengruppen. Es könnte sich bei den Flores-Menschen also durchaus um eine verzweigte Form handeln. *Biology Letters, Online-Publikation vom 17. April.* vbe.

**Auch ohne hohen Druck hart wie Diamant.** Superharte Materialien für industrielle Schneidwerkzeuge oder kratzefeste Beschichtungen müssen heute bei sehr hohen Drücken gefertigt werden, was aufwendig und teuer ist. Nun ist es amerikanischen Forschern gelungen, ein solches Material bei Umgebungsdruck zu synthetisieren, indem sie Rhenium und Borid auf spezielle Weise kombinierten. Das resultierende Material kann sogar Diamant ritzen. Dieser ist das härteste bekannte Material und wird in vielen industriellen Werkzeugen gebraucht. Diamant eignet sich aber nicht, um Teile zu schneiden, die Eisen enthalten, weil sich dabei unliebsame Carbide bilden. Hier könnte das neue Material Anwendung finden. *Science 316, 436–439 (2007).* H.W.

**ETH Lausanne lanciert Allianz für Biokraftstoffe.** Die ETH Lausanne hat vergangene Woche eine globale Allianz zum Thema nachhaltige Biokraftstoffe lanciert. Das Ziel der beteiligten Unternehmen, Regierungen und Umweltorganisationen ist es, bis 2008 einen Entwurf für weltweite Normen im Bereich der Produktion und Verarbeitung von Biokraftstoffen zu erarbeiten, damit diese ihrem Anspruch der Nachhaltigkeit gerecht werden können und keine neuen sozialen oder ökologischen Probleme schaffen. Zu den Gründungsmitgliedern im Lenkungsausschuss gehören unter anderem der WWF, Toyota, BP, die National Wildlife Federation, Shell, die niederländische und die schweizerische Regierung und das World Economic Forum. *H.W.*

Technik und Berufe  
Jeweils am Wochenende in

NZZ executive