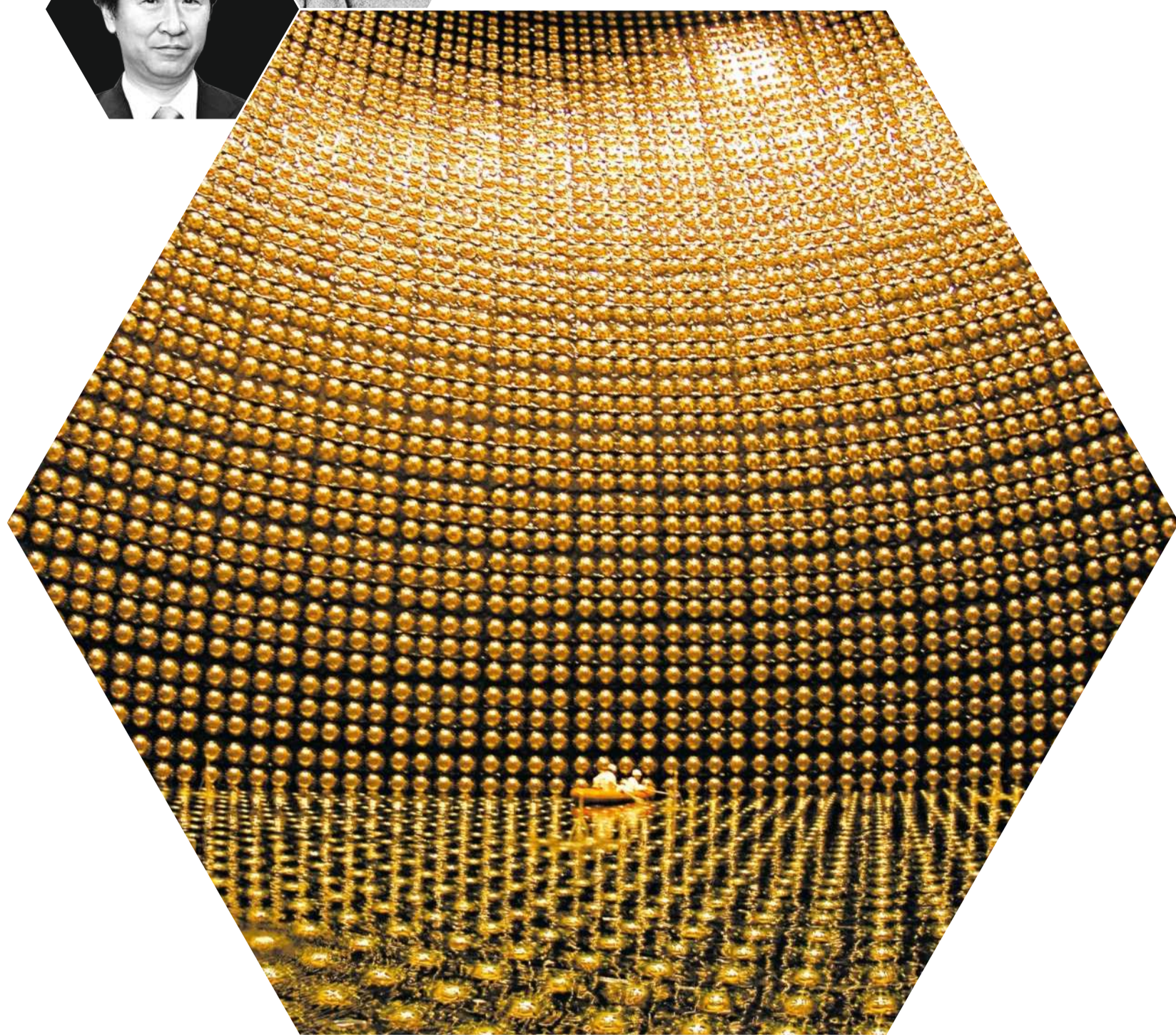
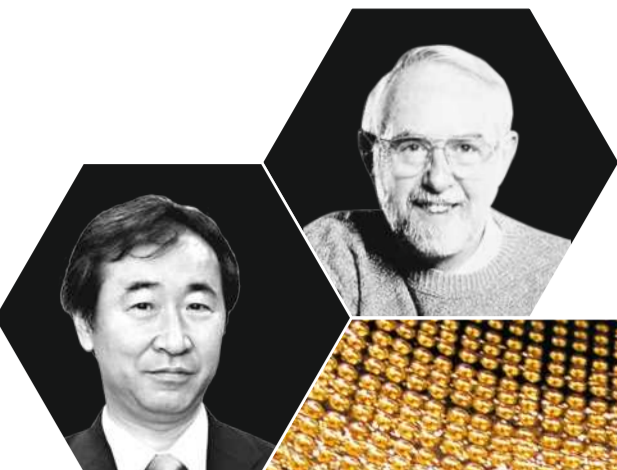


Takaaki Kajita (links) und **Arthur McDonald** erforschen Neutrinos in riesigen, unterirdischen **Detektoren** wie etwa dem Super-Kamiokande in Japan (unten)

Heilkraft des Krauts

Der Medizin-Nobelpreis würdigt Naturstoffe als Inspirationsquelle für neue Medikamente VON HARRO ALBRECHT



Poltergeister und Engel

Für den Beweis der Wandlungsfähigkeit von Neutrinos gibt es dieses Jahr den Nobelpreis für Physik. Doch noch immer bergen sie große Geheimnisse VON MAX RAUNER UND ULRICH SCHNABEL

Neutrinos scheint man schlichtweg alles zuzutrauen, von der Überlichtgeschwindigkeit bis zur Lösung des globalen Energieproblems. Von den seltsamen Elementarteilchen sind bereits so viele bizarre Eigenschaften bekannt, dass man sich bei ihnen über nichts mehr wundert.

Als etwa vor einigen Jahren Physiker des Forschungszentrums Cern verkündeten, ihren Messungen zufolge würden sich Neutrinos schneller als Licht bewegen und damit Einsteins Relativitätstheorie über den Haufen werfen, hielt das sogar die restliche Fachwelt für denkbar – bis sich herausstellte, dass die vermeintliche Sensation nur ein Messfehler war. Bei dem Reifen- und Kabelhersteller Pirelli träumten Forscher davon, mit Neutrinos quer durch den Erdball zu kommunizieren. Und vergangenes Jahr trat beim Bundespresball eine Firma als Sponsor auf, die angeblich mithilfe von »Neutrino-Energie« kostenlos Batterien aufladen will (ein Geschäftsmodell, das vor allem der Kontoaufladung der Firmengründer zu dienen schien).

Kann man den Aufschneidern ihre Märchen verdenken? Schließlich haben die Neutrinos auch die Experten ein ums andere Mal verblüfft – was sich auch daran ablesen lässt, dass für ihre Erforschung nun schon zum vierten Mal ein Nobelpreis verliehen wurde: Takaaki Kajita und Arthur McDonald sind dieses Jahr die Glücklichen, die für den Nachweis geehrt werden, dass die Neutrinos ihre Identität wechseln, wie das Nobelkomitee schreibt.

Die Erforschung der Neutrinos ist damit jedoch keineswegs beendet. Denn das Neutrino ist das merkwürdigste Tier im physikalischen Teilchenzoo. Einerseits ist kaum eine Spezies allgegenwärtiger und zahlreicher: In jeder Sekunde wird ein Quadratmeter Haut von rund 70 Milliarden Neutrinos durchdrungen. Andererseits spüren wir davon rein gar nichts, weil Neutrinos auf kaum eine physikalische Kraft reagieren. Nur über die »schwache Wechselwirkung« treten Neutrinos in Beziehung zu ihrer Umwelt, und diese Anziehung ist so schwach, dass die Geisterreichen ganze Planeten durchqueren können, ohne anzuecken. Weil sie dabei auch noch ständig ihre Identität än-

dern, bezeichnete sie der französische Astrophysiker Michel Cassé einmal poetisch als »transsexuelle Engel«. Andere Physiker reden schlicht von Poltergeistern.

Die Neutrinoforschung ist wissenschaftliches Handwerk, aber auch ein Symbol: für den Erkenntnisdrang der Spezies Mensch, die in den letzten Winkeln der Welt ihre Instrumente aufbaut, um das Rätsel ihrer Existenz zu lösen. Mit Neutrinos kann man keine Bomben bauen, wohl aber das Universum besser verstehen.

Von Anfang an ließ dieses merkwürdige Teilchen die Physiker ebenso staunen wie verzweifeln. »Ich habe etwas Schreckliches getan«, notierte Wolfgang Pauli 1930, als er die Existenz des Neutrinos postulierte. »Ich habe ein Teilchen vorausgesagt, das nicht nachgewiesen werden kann.« Er irrte. Denn hin und wieder – wenn auch extrem selten – hinterlassen Neutrinos doch eine Spur, dann nämlich, wenn sie mit Atomkernen zusammenstoßen. Das nachzuweisen gelang erstmals in den fünfziger Jahren, als die ersten Kernreaktoren einen entsprechend großen Neutrinofluss erzeugten. Mit vierzigjähriger Verspätung gab es 1995 für den Nachweis den Nobelpreis. Die spätere Entdeckung, dass es nicht nur eine Neutrinoart gibt, sondern deren zwei, wurde hingegen schon 1988 in Stockholm ausgezeichnet – eine der vielen kuriosen Volten des Nobelkomitees.

2002 wurde die Neutrinoforschung dann schon wieder geehrt: In einem alten Bergwerk in Süddakota hatte Raymond Davis jene Neutrinos nachgewiesen, die während der Kernfusion im Innern der Sonne entstehen. Achtzehn Jahre lang hatte er tief unter der Erde gemessen und dabei festgestellt: Hier kommt nur ein Drittel jener »solaren Neutrinos« an, die nach den gängigen Sonnen-theorien zu erwarten sind.

Dank der diesjährigen Laureaten wissen wir die Lösung des Rätsels: Es gibt nicht nur zwei, sondern drei verwandte Neutrinoarten – und die tauschen auf dem Weg von der Sonne zur Erde gerne mal ihre Rollen. Das hatten Theoretiker schon länger vermutet, aber erst Takaaki Kajita und Arthur McDonald lieferten den Beweis: der eine mit dem Super-Kamiokande-Experiment in einer Zinkmine nordwestlich von Tokio (Foto), der andere mit dem Sudbury Neutrino Observatory

in einer Nickelmine in Kanada. Ihre Messungen zeigten, dass die in der Sonne entstehenden Elektron-Neutrinos sich auf ihrem Weg zur Erde zum Teil in sogenannte Myon- oder Tau-Neutrinos verwandeln. Deshalb also hatte Davis nur ein Drittel der solaren Elektron-Neutrinos gefunden.

Dass dieser Fund nobelpreiswürdig ist, steht außer Zweifel. Fairerweise müssten Kajita und McDonald allerdings ihr Preisgeld von umgerechnet je 428 000 Euro mit ihren jeweiligen Teams teilen. Denn in den modernen Neutrinoexperimenten arbeiten Dutzende bis Hunderte Forscher mit – die beiden Preisträger stehen also nur stellvertretend für große gemeinsame Anstrengungen.

Und die wird die Neutrinophysik auch weiterhin brauchen. Rund um die Welt sind weitere große Neutrinoaufnahmestationen entstanden, zum Beispiel tief im Eis des Südpols. Die sollen unter anderem die Frage klären, wie schwer die Neutrinos sind – und was am bisher gültigen Standardmodell der Physik nicht stimmt. Diesem zufolge sollten die Neutrinos masselos sein. Die Umwandlung von der einen zur anderen Sorte jedoch ist laut Theorie nur möglich, wenn Neutrinos doch eine Masse haben. Irgendetwas ist hier falsch. Nur was?

»Die interessanteren Entdeckungen in den nächsten zehn Jahren werden nicht von den Teilchenbeschleunigern, sondern aus der Neutrinophysik kommen«, prophezeit der Neutrinoforscher Christian Spiering aus Berlin. Er und seine Kollegen träumen von einer neuen Ära der Astronomie: Weil Neutrinos ungehindert durch Materie fließen, könnte man mit ihnen in das Innere von Sternexplosionen spähen. Vielleicht helfen die Neutrinos ja sogar, das Rätsel der sogenannten Dunklen Materie zu lösen, das die Kosmologen seit Jahren plagt.

Mit solchen Fragen bekommt die Neutrinoforschung eine politische Dimension: Wer führt die nächste Revolution der Physik an? Soll man eher die Teilchenphysiker mit ihren teuren Beschleunigern fördern? Oder lieber die Astroteilchenphysiker, die das Weltall als natürliches Laboratorium nutzen? Es geht um die nächsten Nobelpreise, vor allem aber um viele Milliarden Euro Forschungsgeld.

Ein indischer Reporter stellte auf der Pressekonferenz zur Verleihung des diesjährigen Medizin-Nobelpreises eine zentrale Frage: Ob mit dem Preis alternative Behandlungsmethoden rehabilitiert werden würden? Auf den ersten Blick musste es so aussehen: Zwei Wissenschaftler werden die Medaille für die Entdeckung eines Wirkstoffes aus Bodenbakterien erhalten und eine Forscherin erhält sie für einen Inhaltsstoff, den sie aus dem Einjährigen Beifuß extrahierte.

Schon reiben sich Naturheilkundler die Hände. Haben sie nicht schon immer gesagt, dass die besten Mittel aus der Natur kommen? Und weil die Chinesin Youyou Tu mit den Worten vorgestellt wurde, sie habe auf dem Gebiet der Traditionellen Chinesischen Medizin gearbeitet, fühlten sich die Anhänger der TCM ebenso rehabilitiert. Aber ein Mitglied des Preis-Komitees stellte sogleich klar, dass sich die Wissenschaftler von der Natur lediglich haben inspirieren lassen. Sie entwickelten Einzelsubstanzen, mehr Chemie als sanften Tee also. Preiswürdig war, dass die Forscher effektive Wirkstoffe gegen zwei der größten Geißeln von Entwicklungsländern gefunden hatten: gegen die Erreger von Malaria und gegen Fadenwürmer, die Flussblindheit und Elefantiasis auslösen.

Schätzungsweise 100 bis 200 Millionen Menschen weltweit sind mit den Würmern infiziert. Lange Zeit schien kein Kraut gegen sie gewachsen zu sein. Weil es sich zudem um Erkrankungen handelt, die allein arme Länder treffen, waren Pharmafirmen nicht sonderlich an der Forschung auf diesem Gebiet interessiert.

Der Chemiker und Mikrobiologe Satoshi Ōmura, einer der Preisträger, musste graben, um einen Wirkstoff gegen die Krankheiten zu finden. Im Boden eines beliebigen Golfplatzes stieß er auf ein bekanntes und unter Antibiotikaforschern geschätztes Bakterium namens Streptomyces. Streptomyceten sind eine sehr artenreiche Bakteriengattung, einige von ihnen produzieren Antibiotika. 1974 wählte Ōmura unter Tausenden Bodenproben 50 vielversprechende Streptomyces-Kulturen aus und schickte sie seinem irischstämmigen Kollegen William Campbell in die USA. Der Parasitologe, zweiter Preisträger, testete die Substanzen an Farm- und Haustieren. Und siehe da: Der gereinigte Stoff aus Streptomyces avermitilis wirkte verblüffend gut. Er wurde auf den Namen Avermectin getauft, später chemisch verändert, Ivermectin genannt und war als Medikament zunächst in der Tiermedizin ein Verkaufsschlager gegen Wurmkrankheiten.

Campbell schlug der Pharmafirma Merck vor, das Mittel auch Menschen zu verabreichen. Später schenkte der Konzern Teile der Produktion der Weltgesundheitsorganisation. 2011 vermeldete diese insgesamt eine Milliarde Behandlungen. »Merck hat damit einen Paradigmenwechsel eingeleitet«, sagt Achim Hörauf vom Institut für Medizinische Mikrobiologie, Immunologie und Parasitologie der Universität Bonn. »Heute gibt es viele Firmen, die Medikamente für vernachlässigte Gruppen entwickeln.« Hörauf hält die diesjährige Wahl der Preisträger für ein politisches Statement: Schließlich hätten beim letzten G-7-Gipfel auch die

Regierungschefs gefordert, man müsse mehr gegen die vernachlässigten Tropenkrankheiten tun. Das Medikament von Ōmura und Campbell kann die Flussblindheit und die Elefantiasis allerdings nicht ausrotten. Betroffene müssen die Arznei immer wieder einnehmen. Wissenschaftler wie Hörauf arbeiten jetzt an Mitteln, die das ändern sollen.

Auch die Karriere des zweiten Medikaments begann als Naturstoff. In den sechziger Jahren waren Versuche, Malaria auszurotten, weitgehend gescheitert: Der Erreger, Plasmodium genannt, war gegen alle Therapeutika resistent geworden. Mao Zedong gab die Anweisung, nach einem neuen Mittel zu fahnden. Einer der Experten, die Chinas Staatspräsident beauftragte, war Youyou Tu. Sie konsultierte alte Ärzte, trug mehr als 2000 Rezepte aus Jahrtausenden chinesischer Medizin zusammen – und wurde schließlich fündig. Qinghao hieß das Kraut, das die Fieberschübe der Malaria beseitigen sollte, im Deutschen ist es bekannt unter dem Namen Einjähriger Beifuß.

Tu extrahierte den Artemisinin genannten Inhaltsstoff aus der Pflanze und testete ihn: Doch er war nur in 30 bis 40 Prozent der Fälle wirksam. Im *Handbuch der Mittel für den Notfall* des Alchemisten Ge Hong aus dem Jahr 340 fand sich die Lösung in Form eines genauen Rezepts des Beifußsuds: ein Teil Qinghao auf zwei Teile kaltes Wasser, hieß es da. Weil Tu den Wirkstoff gekocht hatte, war er weniger wirksam geworden. Die Extraktion mit Äther war noch schonender und brachte 1971 den Durchbruch. Weil die Substanz völlig anders aufgebaut ist als alle anderen Wirkstoffe zuvor, gab es zunächst keine Resistenzen bei den Parasiten. Heute gilt Artemisinin in Kombination mit einem weiteren Wirkstoff als das Nonplus-ultra der Malariatherapie.

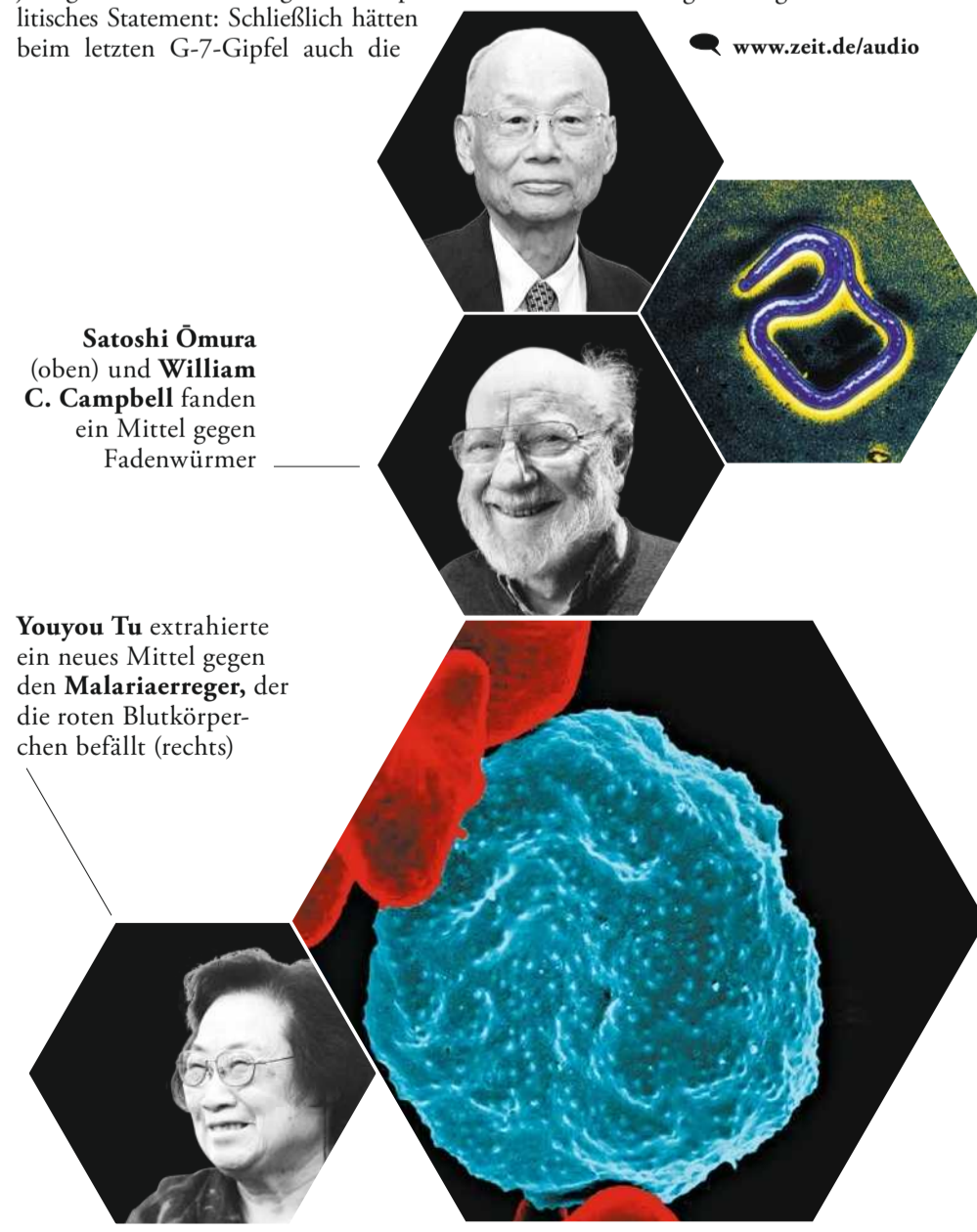
Peter Seeberger vom Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung findet es »einfach super«, dass seine chinesische Kollegin den Nobelpreis bekommen wird. »Sie hat einen ungewöhnlichen Ansatz gewählt, und sie war hartnäckig.« Artemisinin sei von einzigartiger Wichtigkeit und habe Millionen von Menschen das Leben gerettet.

Eines trübt die Freude an der Wunderdroge: Die Behandlung einer Malariainfektion mit sechs Tabletten kostet etwa zehn Euro. Die Gesundheitsausgaben in Westafrika liegen pro Jahr und Person aber bei umgerechnet 50 Cent. Die Rohstoffe des Medikaments kommen zwar aus unterentwickelten Ländern, die Wertschöpfung dagegen geschieht fast ausschließlich in den entwickelten Staaten.

Dass es anders geht, zeigt Vietnam. Das Land hat die Malaria unter anderem dank Artemisinin-Präparaten komplett im Griff, es produziert die Wirkstoffe weitgehend in Eigenregie, inzwischen auch mit Unterstützung von Seeberger. Der deutsche Forscher hat ein Verfahren entwickelt, das noch mehr Inhaltsstoffe aus den Pflanzen für die Produktion des Medikaments herauskitzelt. Das macht es günstiger. Noch ist nicht sicher, ob die Welt wirklich für ein billiges Malariamittel bereit ist. Dafür ist der Markt zu lukrativ. »Wenn man sieht, was Youyou Tu geleistet hat, ist das sehr bedauerlich«, sagt Seeberger.

Chemie

Der Nobelpreis für Chemie wurde erst nach Redaktionsschluss dieser ZEIT-Ausgabe verkündet. Den Bericht dazu finden Sie auf www.zeit.de/nobelpreise



Satoshi Ōmura (oben) und **William C. Campbell** fanden ein Mittel gegen Fadenwürmer

Youyou Tu extrahierte ein neues Mittel gegen den **Malariaerreger**, der die roten Blutkörperchen befallt (rechts)

www.zeit.de/audio

www.zeit.de/audio