

🔊 Diesen Artikel können Sie als Audiodatei beziehen; siehe www.spektrum.de/audio

NOBELPREIS FÜR MEDIZIN

Babyboom aus der Retorte

Im Jahr 1978 gelang es Robert G. Edwards als Erstem, menschliche Eizellen in der Kulturschale zu befruchten und in den Uterus einer Frau zurückzupflanzen. Für diese Pioniertat wurde ihm nun der Nobelpreis für Medizin oder Physiologie verliehen.

Von Stefanie Reinberger

Mehr als zehn Prozent aller Paare weltweit sind unfruchtbar. Ihnen eröffnete Robert G. Edwards einen Weg zum eigenen Nachwuchs, als er – gemeinsam mit seinem inzwischen verstorbenen Forschungspartner, dem Gynäkologen Patrick C. Steptoe – zwischen den 1950er und 1970er Jahren die Methode der In-vitro-Fertilisation (IVF) entwickelte. Rund vier Millionen Menschen wurden mittlerweile im Reagenzglas gezeugt, die ohne den britischen Forscher nicht geboren wären. Sie hatte das Nobelkomitee mit Sicherheit im Auge, als es ihrem wissenschaftlichen Vater nun den Preis für Medizin oder Physiologie zuerkannte.

Erwartungsgemäß stieß diese Entscheidung auch auf Kritik. So bewertete sie der Vatikan als »vollkommen deplatziert« und geißelte die »Vermarktung von Eizellen«. Ein Sprecher verwies auf die unzähligen Embryonen in Gefriertruhen, die im besten Fall darauf warteten, verpflanzt zu werden, aber mit größter Wahrscheinlichkeit zum Tod verurteilt seien. Ethische Bedenken wurden auch schon bei der Geburt des ersten Retortenbabys im Jahr 1978 laut – ebenso wie die Sorge, künstlich gezeugte Kinder hätten eventuell ein höheres Erkrankungsrisiko (Spektrum der Wissenschaft 8/1979, S. 30).

Das Nobelkomitee würdigte allerdings nicht nur Edwards Beitrag zur Therapie von Unfruchtbarkeit, sondern auch die akribische Grundlagenforschung, mit welcher der inzwischen 85-Jährige fundamentale Prinzipien der menschlichen Befruchtung aufklärte. Schritt für Schritt beantwortete der Physiologe bis dahin offene Fragen zur Reifung der weiblichen Eizellen, zur Hormonregulation dieses

Vorgangs und zum günstigsten Zeitpunkt für eine Befruchtung der Oozyten.

Tatsächlich war der Weg bis zur Geburt des ersten Retortenbabys lang und steinig. Nur weil Edwards ihn mit großer Entschlossenheit und Beharrlichkeit verfolgte, gelangte er schließlich ans Ziel. Schon in den 1950er Jahren hatte der Brite die Vision, unfruchtbaren Paaren durch die Verlagerung des Zeugungsakts aus dem Körper heraus zur Kindersegen zu verhelfen. Die Idee kam nicht von ungefähr: Edwards beschäftigte sich damals an der Edinburgh University (Schottland) mit der Entwicklung von Eizellen und deren hormoneller Kontrolle im Eierstock von Mäusen. Schon 1935 war es dem US-Forscher Gregory Pincus gelungen, Oozyten von Kaninchen im Reagenzglas ausreifen zu lassen. 1959 befruchtete der chinesisch-amerikanische Wissenschaftler Chueh Chang Eizellen der Nager in vitro. Noch im selben Jahr kamen in seinem Labor die ersten Retortenkaninchen zur Welt.

Mühsamer Hindernislauf

Beim Versuch, diese Ergebnisse auf den Menschen zu übertragen, musste Edwards zunächst jedoch etliche Rückschläge einstecken. Eizellen ließen sich damals nur in unreifem Zustand durch operative Entnahme eines Stücks der Eierstöcke einer Frau gewinnen. Befruchtungsversuche mit ihnen im Reagenzglas scheiterten kläglich. Deshalb begann Edwards, den Reifungsprozess der menschlichen Oozyten genauer zu beobachten, um herauszufinden, wie die weiblichen Hormone diesen Vorgang steuern. In der Folge entwickelte er eine Methode, Eizellen in der Kulturschale hormonell auf die Befruchtung vorzubereiten. Dabei durchlaufen sie die gleiche Reifeteilung wie in



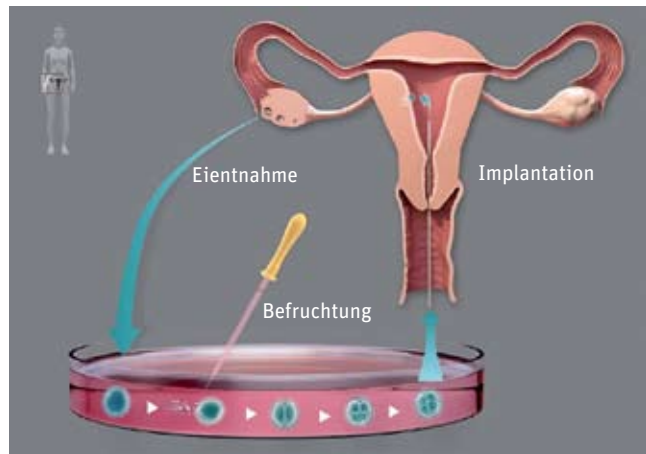
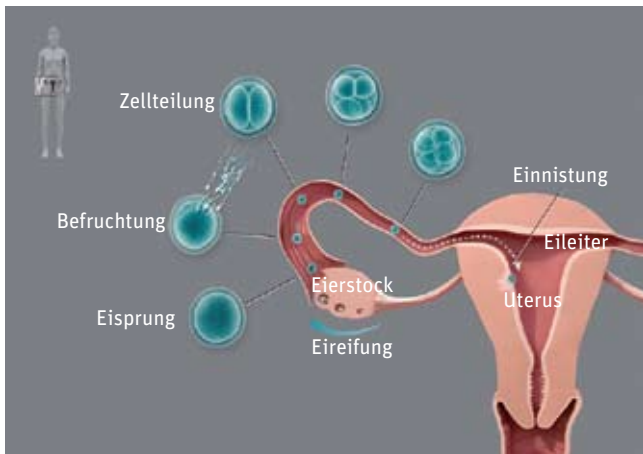
Robert G. Edwards war der Wegbereiter der Reagenzglasbefruchtung. Hier umarmt er **Louise Brown**, die durch ihn als erstes Retortenbaby 1978 zur Welt kam.

der Gebärmutter kurz vor dem Eisprung, gehen also, fachlich ausgedrückt, in das Metaphasestadium der Meiose II über. Nur in diesem Stadium sind sie zur Vereinigung mit einer Samenzelle fähig.

Auch die männlichen Gegenspieler beim Befruchtungsvorgang gilt es auf ihre Aufgabe vorzubereiten. Chang hatte 1959 Spermien der Rammeler im Uterus lebender Kaninchen vorinkubiert. Die britischen Forscher um Edwards tüftelten eine Pufferlösung aus, mit der sich Samenzellen künstlich aktivieren ließen.

Als Ergebnis der langjährigen Bemühungen glückte 1969 schließlich erstmals die Befruchtung einer menschlichen Eizelle im Reagenzglas. Allerdings teilte sie sich nur ein einziges Mal, bevor sie abstarb. Gleiches geschah bei weiteren Versuchen. Deshalb entschied Edwards, lieber Oozyten zu verwenden, die im Eierstock bereits herangereift waren. Im normalen Menstruationszyklus ist das jeweils nur eine einzige kurz vor der Ovulation. Aus seinen Tierexperimenten wusste der britische Physiologe jedoch, wie sich der Reifungsprozess im Körper durch Hormongaben stimulieren lässt, so dass mehrere Eizellen in das Metaphasestadium der Meiose II übergehen. Sie müssten gezielt entnommen werden. Mit der herkömmlichen operativen Methode war das allerdings nicht möglich.

Hier kam Edwards' wohl wichtigster Forschungspartner ins Spiel: Patrick C. Steptoe. Der britische Gynäkologe zählt zu den Pionieren der Laparoskopie. Bei dieser so genannten Schlüssellochchirurgie werden durch kleine Schnitte in der Bauchdecke ein optisches System und von außen zu bedienende Instrumente eingeführt. Auf diese Weise konnte Steptoe geeignete reife Eizellen auswählen und



THE NOBEL COMMITTEE FOR PHYSIOLOGY OR MEDICINE 2010 / MATTHIAS KARLEN

mit einer Saugvorrichtung entnehmen. Nach künstlicher Befruchtung im Reagenzglas teilen sie sich, und die entstehenden Embryos wurden im Achtzellstadium in die Gebärmutter verpflanzt.

Zunächst allerdings misslang die Einnistung, weil auch der Uterus zur Aufnahme einer solchen »Morula« bereit sein muss. Die Hormonbehandlung für die Eizellreifung störte die dafür nötigen Vorgänge. Es bedurfte weiterer Experimente, dieses Problem zu lösen. So kam erst einige Jahre später nach mehreren Fehlversuchen und einer Eileiterschwangerschaft am 25. Juli 1978 endlich das erste Retortenbaby zur Welt: ein gesundes Mädchen, das mittlerweile selbst Mutter ist.

Steigerung der Erfolgsquote

Knapp vier Jahre später wurde auch in Deutschland das erste im Reagenzglas gezeugte Kind geboren. Seither haben Ärzte und Wissenschaftler die Methode in vielerlei Hinsicht verfeinert. »Heute werden die Frauen ganz anders hormonell behandelt als damals«, sagt die Münchner Gynäkologin und Genetikerin Tina Buchholz. »Dosis und Zusammensetzung der Hormone sind verändert, und sie werden auch nicht mehr aus menschlichem Serum gewonnen, sondern gentechnologisch hergestellt.«

Eine wichtige Entwicklung seit Edwards' erstem Erfolg ist die Möglichkeit, sowohl reife als auch befruchtete Eizellen einzufrieren und zu einem späteren Zeitpunkt zu verwenden. Davon profitieren insbesondere junge Frauen, die sich aus krankheitsbedingten Gründen die Eierstöcke entfernen lassen oder einer Chemotherapie unterziehen müssen. Sie können ihre Familienplanung auf einen späteren Zeitpunkt verschieben.

Einige Schritte der natürlichen Befruchtung (links) laufen bei der In-vitro-Fertilisation (rechts) außerhalb des Körpers ab. Eine reife Eizelle wird aus dem Eierstock entnommen, in der Kulturschale mit Spermien versetzt, und der sich entwickelnde Embryo nach einigen Zellteilungen in die Gebärmutter verpflanzt.

Neue Methoden wie etwa die Intracytoplasmatische Spermieninjektion (ICSI), bei der Spermien unterm Mikroskop direkt in die Eizelle eingeführt werden, erhöhen die Erfolgsquote insbesondere bei mangelhafter Spermienqualität. Das Gleiche gilt für längere Kulturzeiten der bereits befruchteten Eizellen. Dabei beobachten Mediziner nach zellbiologischen Gesichtspunkten, etwa anhand des Aussehens der frühen Embryonen, welche sich aussichtsreich entwickeln und daher geeignete Kandidaten für den Transfer in die Gebärmutter sind. In einigen Ländern besteht zudem die Möglichkeit, sie genetisch zu untersuchen. In Deutschland ist diese Präimplantationsdiagnostik nach einem Urteil des Bundesgerichtshofs mittlerweile an Zellen des so genannten Trophekterds möglich, aus dem während der weiteren Schwangerschaft die Plazenta entsteht. Damit will man schwer wiegende genetische Störungen verhindern.

»Ob die längere Kulturzeit tatsächlich ein Segen ist für die Reproduktionsmedizin, ist aber nicht unumstritten«, erklärt Buchholz. Sie teilt die Bedenken einiger Kollegen, dass die Zeit in der Kulturschale die Entwicklung der Embryonen eventuell negativ beeinflusst. Zum Beispiel könnten epigenetische Schäden auftreten, also eine chemische Modifikation der DNA, die sich auf die Regulation der Genaktivität auswirkt und dadurch die Embryonalentwicklung stört.

Tatsächlich bestehe bei einer assistierten Befruchtung ein erhöhtes Risiko

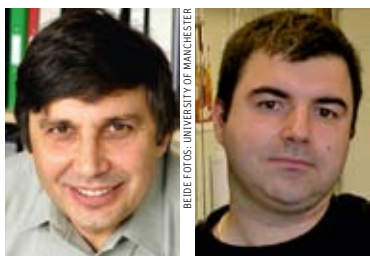
für Fehlbildungen von vier bis sechs Prozent gegenüber drei bis vier Prozent bei spontanen Schwangerschaften, bestätigt Bernhard Horsthemke vom Universitätsklinikum Essen (siehe auch Spektrum der Wissenschaft 12/2003, S. 36). Nach Untersuchungen aus dem Labor des Humanogenetikern sowie von Forschergruppen aus anderen Ländern existiert ein Zusammenhang zwischen künstlicher Befruchtung und Erkrankungen auf Grund epigenetischer Fehler. Eine umfangreiche australische Studie aus dem Jahr 2004 ergab, dass das Risiko für das Beckwith-Wiedemann-Syndrom, das mit Großwuchs und erhöhter Krebsneigung einhergeht, bei in vitro gezeugten Kindern um das Neunfache erhöht ist. Die genaue Ursache liegt noch im Dunkeln. »Im Verdacht stehen die Kulturbedingungen, aber auch epigenetische Fehler bei Eltern mit eingeschränkter Fruchtbarkeit kommen in Frage«, so Horsthemke. Tierversuche legen zudem nahe, dass die Eizellen durch den künstlich gesteuerten Reifungsprozess Schaden nehmen können.

Der Essener Wissenschaftler sieht trotzdem keinen Anlass, die In-vitro-Befruchtung zu verteufeln oder gar Panik zu verbreiten. Dazu sei das absolute Risiko viel zu gering. Man müsse dem Verdacht aber weiter nachgehen und Paare, die medizinische Hilfe beim Elternwerden suchen, über die Gefahr aufklären.

Stefanie Reinberger ist promovierte Biologin und freie Wissenschaftsjournalistin in Köln.

Mit Tesafilm zum molekularen Maschendraht

Für die Gewinnung und Charakterisierung von Graphen, einem Material aus wabenartig verknüpften Kohlenstoffatomen, das mit etlichen Superlativen aufwarten kann, wurden Andre K. Geim und Konstantin S. Novoselov mit dem Nobelpreis für Physik geehrt.



Andre Geim (links) und sein Kollege **Konstantin Novoselov** (rechts) isolierten und untersuchten als erste Graphen: eine einzelne, atomar dünne Schicht aus Kohlenstoff mit außergewöhnlichen elektronischen wie auch mechanischen Eigenschaften.

Von Patrik Recher und Björn Trauzettel

Kohlenstoff ist nicht nur in seinen Verbindungen, sondern auch als reines Element ungewöhnlich vielseitig. So kommt er in der Natur in kristalliner Form als Diamant und Graphit vor – zwei Modifikationen mit völlig unterschiedlichen Eigenschaften. Diamant ist das härteste bekannte Material und dabei durchsichtig mit hohem Brechungsindex. Er fasziniert deshalb als funkelnader Edelstein. Graphit dagegen ist undurchsichtig schwarz und ein ausgesprochen weiches Material, das sich zum Schreiben und Zeichnen eignet. Außerdem kann elementarer Kohlenstoff auch in Form käfigartiger Moleküle vorkommen, die an Fußbälle erinnern. Die Entdeckung dieser »Fullerene« trug Robert Curl, Harold Kroto und Richard Smalley 1996 den Nobelpreis für Chemie ein (Spektrum der Wissenschaft 12/1996, S. 18).

Als erstes Element der vierten Hauptgruppe des Periodensystems hat Kohlenstoff vier Elektronen in der äußeren Schale. Im Diamant dienen sie alle glei-

chermaßen zum Knüpfen kovalenter Bindungen, so dass ein Kohlenstoffatom jeweils tetraedisch mit vier anderen verbunden ist. Im Graphit dagegen bilden jeweils nur drei Elektronen eine feste chemische Bindung zu benachbarten Atomen. Dadurch entsteht ein ebenes Gitter in Form einer Honigwabe. Das vierte Elektron ist gleichmäßig über dieses Maschennetz verteilt (delokalisiert). Viele solche atomaren Schichten sind im Graphit übereinandergestapelt.

Dass es gelingen könnte, sie auch einzeln zu gewinnen, galt lange Zeit als praktisch ausgeschlossen. Nach der Entdeckung der Fullerene stießen Chemiker bei Versuchen, die Fußballmoleküle auf verschiedenen Wegen zu erzeugen, zwar überraschend auf Nanoröhren, in denen solche Graphit-Einzelschichten zu Zylindern aufgerollt waren. Dass sie sich auch als ebenes molekulares Maschennetz isolieren ließen, glaubte trotzdem kaum jemand – zumal Theoretiker vorausgesagt hatten, strikt zweidimensionale Kristalle seien grundsätzlich nicht stabil (Mermin-Wagner-Theorem).

Verblüffend einfacher Trick

Im Jahr 2004 aber ist einer Gruppe unter der Leitung von Andre K. Geim und Konstantin S. Novoselov genau dies gelungen, und zwar auf verblüffend einfache Art und Weise (siehe Bild rechts). Die Forscher drückten einen Klebestreifen auf Pulver aus Graphit und übertrugen die daran haftenden Partikel auf ein Substrat. Diesen Vorgang wiederholten sie so lange, bis sich schließlich einige Monolagen auf dem Substrat befanden. Damit hatten die findigen Wissenschaftler das dünnste Material im Universum geschaffen. In Anlehnung an Graphit bezeichnet man es als Graphen.

Die eigentliche Kunst bestand allerdings darin, nachzuweisen, dass es sich

wirklich um Einzelschichten handelte. Wie lässt sich erkennen, wie viele Lagen transferiert wurden? Die Wissenschaftler in Manchester lösten das Problem, indem sie ein Substrat aus Siliziumdioxid mit einer genau definierten Schichtdicke benutzten. In einem Lichtmikroskop konnten sie auf Grund von Interferenzeffekten dann die Monolagen allein durch den optischen Kontrast von mehrlagigen Schichten unterscheiden.

Durch elektrische Transport-Messungen an dem Material bestätigte die Manchester-Gruppe – und unabhängig davon ein Team um Philip Kim an der Columbia University in New York – im Jahr 2005 auch die besonderen elektronischen Eigenschaften, die Theoretiker für Graphen vorausgesagt hatten. So sollten sich die Elektronen darin wie masselose Quasiteilchen bewegen, die einst Paul Dirac beschrieben hatte. Die Folge ist unter anderem, dass schon bei Zimmertemperatur ein so genannter halbzahliger Quanten-Hall-Effekt auftritt, der sonst nur bei Temperaturen von flüssigem Helium zu beobachten ist.

Aus diesen und anderen Gründen weckt Graphen große Hoffnungen auf vielerlei technische Anwendungen. Das bescherte ihm in den vergangenen Jahren einen wahren Boom in der Festkörperphysik, der ungebrochen anhält und auch in andere Teilgebiete der Physik und Chemie abstrahlt.

So mühen sich Forscher, die speziellen elektronischen Eigenschaften von Graphen theoretisch und experimentell besser zu verstehen. Andere suchen nach neuen Herstellungsmethoden. Ein Ansatz ist, Graphen auf einem geeigneten Substrat wachsen zu lassen. Siliziumcarbid und Metalle wie Ruthenium, Iridium oder Kupfer haben sich dabei als viel versprechend erwiesen. Auf diese Weise hofft man die Monolagen großflächiger und

kontrollierter herstellen zu können als mit der Klebestreifenmethode.

Wegen seiner sehr hohen elektrischen Leitfähigkeit stand Graphen von Anfang an im Ruf eines Wundermaterials für die Nanoelektronik. Seine Zweidimensionalität lässt es als ideal für die Herstellung von Transistoren erscheinen, die in elektronischen Schaltkreisen von Computern oder Mobiltelefonen zum Einsatz kommen. Dies trifft vor allem auf schmale Streifen aus Graphen oder auf die zweilagige Variante zu, in der die für Halbleiter typische Bandlücke erzeugt werden kann, auf der die Funktion herkömmlicher Transistoren beruht. Da Graphen lichtdurchlässig ist, eignet es sich auch für so genannte Touchscreens: berührungsempfindliche Bildschirme, die sich neuerdings großer Beliebtheit erfreuen. Zudem hat es eine ausgezeichnete Wärmeleitfähigkeit. Wegen seiner großen Oberfläche im Verhältnis zur Masse kann Graphen auch als Sonde zum Aufspüren chemischer Substanzen dienen. Schließlich sind seine mechanischen Eigenschaften höchst beeindruckend: Als stärkstes Material, das jemals gemessen wurde, widersteht es Kräften, die etwa 200-mal der Bruchlast von Stahl entsprechen.

Material für die Spintronik

Große Erwartungen weckt Graphen auch bei Forschern auf dem Gebiet der so genannten Spintronik. Mit dem Spin (Eigendrehimpuls) des Elektrons ist ein magnetisches Moment verknüpft, das sich ebenso wie die Ladung zur Speicherung und Übertragung von Informationen nutzen lässt. Ein Beispiel dafür liefert der Riesenmagnetowiderstand, für dessen Entdeckung Albert Fert und Peter Grünberg 2007 den Physiknobelpreis erhielten (Spektrum der Wissenschaft 12/2007, S. 18). Da Kohlenstoff ein leichtes Element ist, fällt die Wechselwirkung des Spins mit der Bewegung der Elektronen, die so genannte Spin-Bahn-Kopplung, besonders schwach aus. Außerdem hat das Kohlenstoff-Isotop der Atommasse 12, aus dem das Element zu fast 99 Prozent besteht, keinen Kernspin, der den Elektronenspin negativ beeinflussen könnte. Dieser lässt sich deshalb im Graphen mit nur geringen Verlusten transportieren.

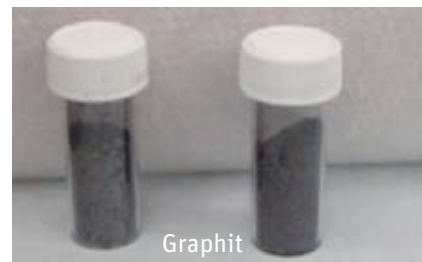
Was sich von all den Hoffnungen wirklich erfüllt und in industriellen Produkten niederschlägt, liegt noch im Dunkeln. Die Möglichkeiten zur Untersuchung von Graphen sind beschränkt,

Drückt man einen Klebestreifen auf Graphitpulver und dann auf ein Substrat aus Siliziumdioxid, befindet sich dort mit etwas Glück neben mehrschichtigem Graphit auch einlagiges Graphen. Dieses lässt sich erst mit dem Lichtmikroskop durch den optischen Kontrast identifizieren. Die betreffende Flocke kann anschließend kontaktiert und durch elektrische Messungen charakterisiert werden.

weil es sich bisher nicht gut und günstig genug isolieren und verarbeiten lässt. Vieles spricht jedoch dafür, dass dieses Material mit seinen einzigartigen Eigenschaften in Low- wie auch Hightech-Anwendungen unser zukünftiges Leben mitbestimmen wird.

Andre Geim und Konstantin Novoselov haben beide russische Wurzeln. Geim ist mittlerweile Niederländer. 1958 als Sohn deutschstämmiger Eltern in Sotschi am Schwarzen Meer geboren, erhielt er 1987 den Dokortitel in Physik von der Russischen Akademie der Wissenschaften. Seit 1990 forschte er zunächst als Postdoc an mehreren europäischen Universitäten, bevor er 1994 außerordentlicher Professor für Physik an der Radboud Universität Nijmegen (Niederlande) wurde. Seit 2001 ist er Physikprofessor an der University of Manchester (England) und dort Direktor eines großen Forschungsinstituts. Geim erhielt etliche Auszeichnungen, unter anderem im Jahr 2000 den satirischen Ig-Nobelpreis für ein Experiment, bei dem ein lebender Frosch in einem Magnetfeld zum Schweben gebracht wurde. Er ist somit der erste Wissenschaftler, der sowohl den parodistischen als auch den echten Nobelpreis gewann.

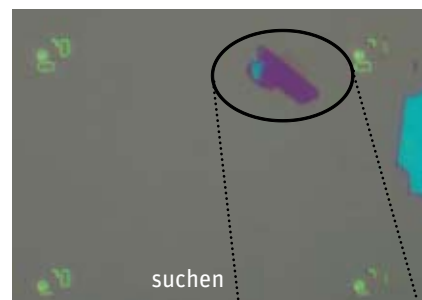
Konstantin Novoselov wurde 1974 in Nischni Tagil im Ural geboren und ist damit einer der jüngsten Nobelpreisträger überhaupt. Er hat sowohl einen britischen als auch einen russischen Pass. Nach dem Physikdiplom am Moskauer Institut für Physik und Technologie ging er 1999 zur Promotion nach Nijmegen zu Andre Geim. Novoselov folgte seinem Doktorvater auch 2001 nach Manchester und hat heute dort eine Physikprofessur inne. Beide wurden für ihre bahnbrechenden Entdeckungen über Graphen mit dem Europhysics Prize 2008 ausgezeichnet. Novoselov hat außerdem einen der begehrten ERC Startup Grants der Europäischen Union erhalten.



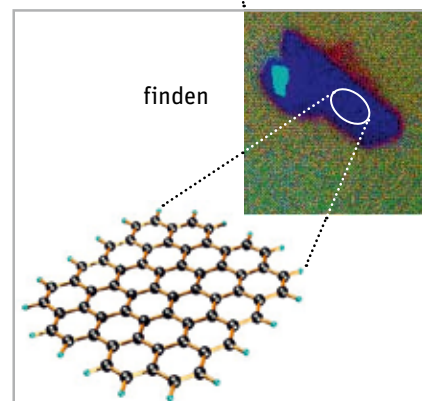
Graphit



Tesafilm



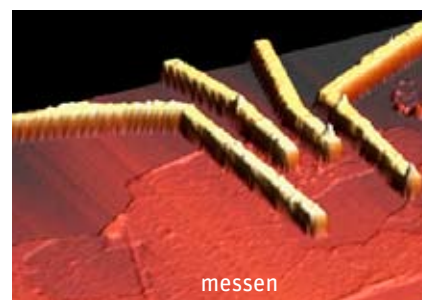
suchen



finden



kontak-
tieren



messen

Der diesjährige Nobelpreis kam für die zwei Forscher überraschend. »Ich habe gut geschlafen«, sagte Geim am Tag der Bekanntgabe. Er und Novoselov führten selbst an diesem bedeutendsten Tag ihrer wissenschaftlichen Laufbahn

ihre Forschungsarbeiten weiter. Letzterer bedauerte während eines Telefoninterviews, dass er für den Rummel um seine Person eine interessante Messung unterbrechen müsse.

Patrik Recher und **Björn Trauzettel** sind promovierte Physiker und am Institut für Theoretische Physik und Astrophysik der Universität Würzburg tätig. Recher als Leiter einer Emmy-Noether-Gruppe und Trauzettel als Professor für theoretische Physik der kondensierten Materie.

NOBELPREIS FÜR CHEMIE

Verknüpfung von Kohlenstoffatomen mittels Palladium

Ein ebenso wichtiger wie schwieriger Schritt beim Aufbau komplizierter organischer Verbindungen ist oft das Knüpfen einer Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung. Für die Entwicklung eines eleganten Verfahrens dazu – in drei Varianten – erhielten Richard F. Heck, Ei-ichi Negishi und Akira Suzuki den Chemie-Nobelpreis.



UNIVERSITY OF DELAWARE, USA



PURDUE UNIVERSITY, USA



HOKKAIDO UNIVERSITY, JAPAN

Richard F. Heck (links) entwickelte den Prototyp einer von Palladium katalysierten Kreuzkupplung, bei der ein ungesättigter mit einem halogenierten Kohlenwasserstoff verknüpft wird (siehe Bild auf S. 20). **Ei-ichi Negishi** ersetzte das Alken durch eine zink- und **Akira Suzuki** durch eine bororganische Verbindung, was die Einsatzmöglichkeiten der Reaktion erheblich erweiterte.

In den Grundzügen hat der US-Forscher Richard F. Heck dieses Verfahren schon 1968 entwickelt. Später ersannen die Japaner Ei-ichi Negishi und Akira Suzuki Varianten davon, die sein Einsatzspektrum erheblich erweitert haben. Alle drei erhielten für diese Leistungen den diesjährigen Chemie-Nobelpreis.

Bei der Synthese von komplizierten Molekülen kommt es darauf an, in jedem der vielen nötigen Reaktionsschritte nahezu 100 Prozent des gewünschten Produkts zu erhalten. Anderenfalls bleibt am Ende außer Abfall kaum mehr etwas übrig. Wenn sich etwa bei der 28-stufigen Totalsynthese des Krebsmedikaments Taxol in jedem Schritt nur eine Ausbeute von 90 Prozent erzielen ließe, betrüge die Gesamtausbeute lediglich fünf Prozent. Die von Heck, Negishi und Suzuki entwickelten Reaktionen stehen auch in dieser Hinsicht hervor: Sie liefern jeweils spezifisch ein bestimmtes Reaktionsprodukt in hoher Ausbeute. Überdies laufen sie unter milden Bedingungen ab. Möglich macht das der Einsatz eines Katalysators, bei dem es sich in diesem Fall um Palladium handelt.

Richard Heck begann sich in den 1960er Jahren für die katalytischen Fähigkeiten dieses Edelmetalls zu interessieren. Auslöser war dessen Rolle bei der Umsetzung von Ethen (Äthylen) mit Luftsauerstoff zu Acetaldehyd in einem bei der Wacker-Chemie GmbH in München entwickelten Verfahren. Als Heck, der damals bei der Firma Hercules in Wilmington (Delaware) arbeitete, mit Palladium und organischen Verbindun-

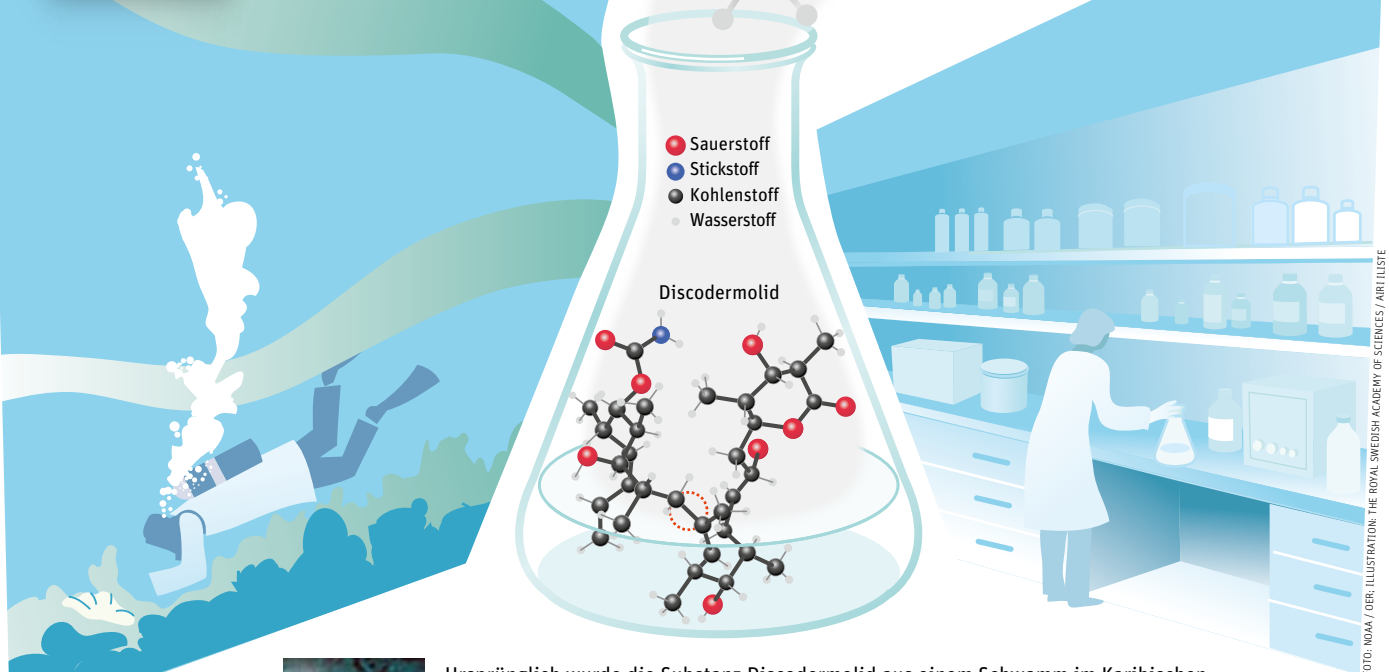
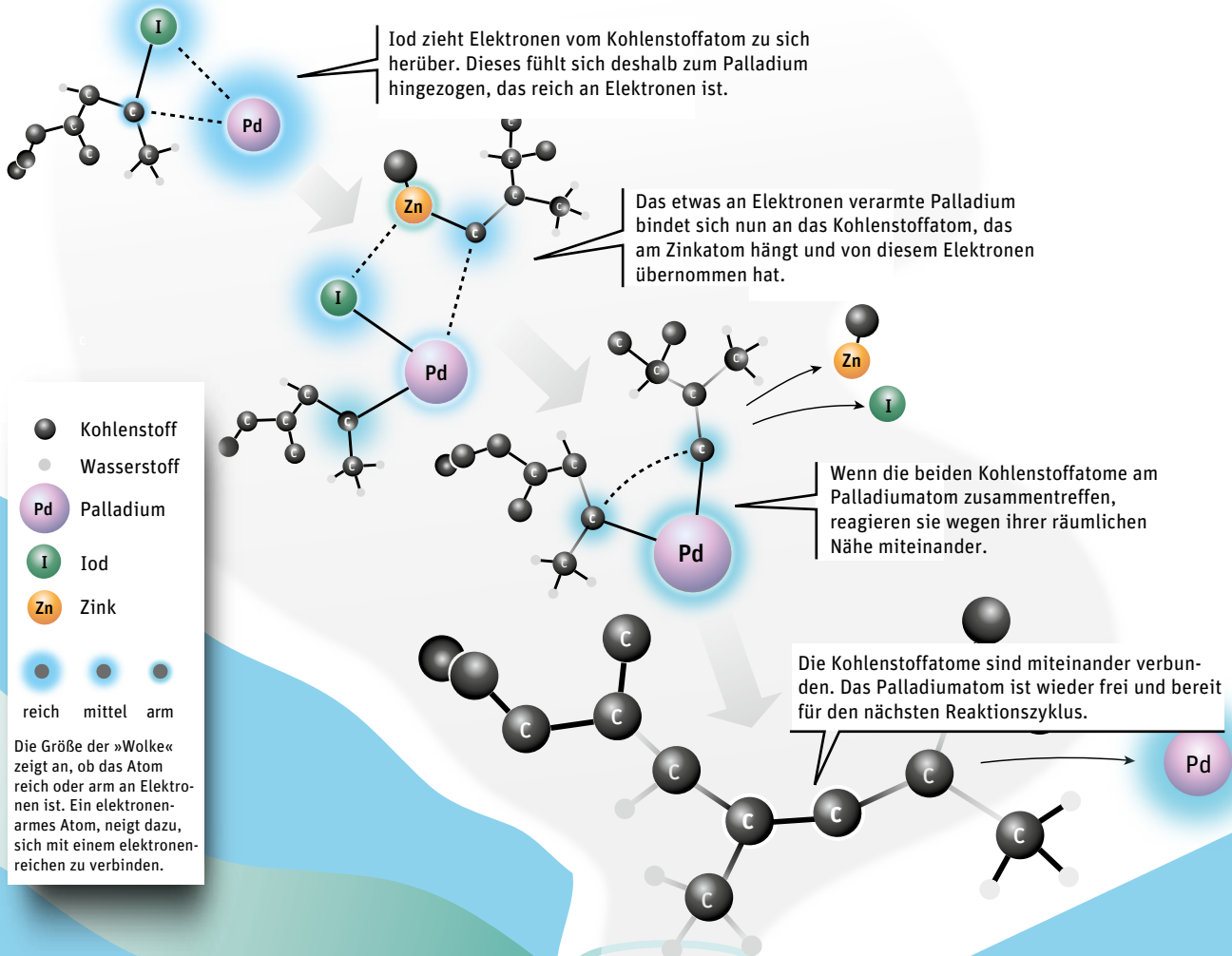
Von Michael Groß

Die Synthese neuartiger oder der Nachbau natürlich vorkommender Kohlenstoffverbindungen ist ein Kerngebiet der Chemie, das in den letzten Jahren und Jahrzehnten ein wenig in den Hintergrund gedrängt wurde. Die Natur liefert uns viele nützliche Substanzen – insbesondere auch solche, die von medizinischem Interesse sind. Die Gewinnung aus der natürlichen Quelle ist aber oft nur in kleinem Maßstab möglich. Ein in jüngster Zeit häufig beschränkter Ausweg besteht in der biotechnologischen Herstellung mit Hilfe von genmanipulierten Mikroorganismen oder Zellkulturen. Aber auch eine chemische Synthese hat ihre Vorteile. So erlaubt sie, von der Natur nicht vorgesehene Varianten einzuführen, um dadurch etwa die

Wirksamkeit oder Spezifität eines Medikaments zu verbessern.

Der Aufbau organischer Verbindungen erfordert in der Regel, Kohlenstoffatome miteinander zu verbinden. Die aber haben dazu von sich aus wenig Neigung. Ihre Verkettung zählt deshalb nicht nur zu den wichtigsten, sondern auch zu den schwierigsten Kunststücken der organischen Synthese. Um Kohlenstoffatome zu verknüpfen, mussten Chemiker früher oft komplizierte Umwege beschreiten. In den vergangenen Jahrzehnten wurden dann einige direkte Methoden entdeckt. Trotzdem bleibt deren Anzahl überschaubar. Nach der Olefin-Metathese, die allerdings lediglich einen Partnertausch bei schon existierenden Bindungen darstellt (Spektrum der Wissenschaft 12/2005, S. 22), ist nun ein weiteres solches Verfahren mit dem Nobelpreis gewürdigt worden.

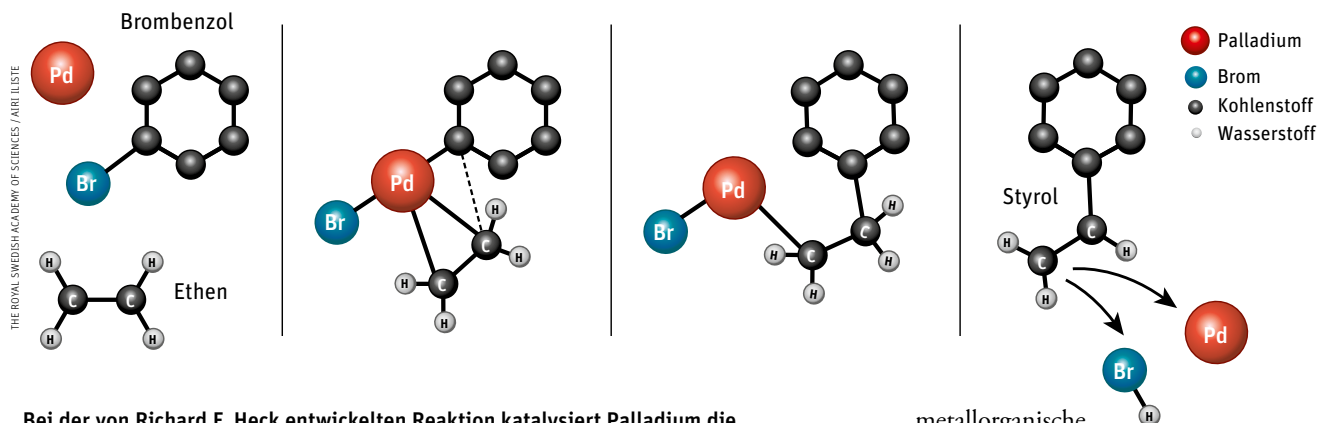
Mit der Negishi-Kupplung zum Antikrebsmittel



Discodermia dissoluta

Ursprünglich wurde die Substanz Discodermolide aus einem Schwamm im Karibischen Ozean (Foto links) isoliert. Später bauten Forscher sie im Labor nach. Für einen entscheidenden Schritt (rot gestrichelt) dieser Synthese nutzten sie Negishis Variante der palladiumkatalysierten Kreuzkupplungsreaktion. Discodermolide attackiert Krebszellen auf dieselbe Weise wie Taxol, eines des wichtigsten Antikrebsmittel weltweit.

FOTO: NOAA / OER; ILLUSTRATION: THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES / AIR ILLUSTRATION



Bei der von Richard F. Heck entwickelten Reaktion katalysiert Palladium die Verknüpfung eines bromierten Kohlenwasserstoffs mit einer ungesättigten Kohlenstoffverbindung. Der genaue Ablauf ist hier am Beispiel der Umsetzung von Brombenzol mit Ethen zum Styrol gezeigt.

gen experimentierte, entdeckte er 1968 eine außerordentlich nützliche und bis dahin nicht auf direktem Wege mögliche Reaktion: die Verknüpfung eines »Aromaten« – eines Kohlenstoffrings mit abwechselnden Einfach- und Doppelbindungen, die ihre Plätze tauschen können – mit einem ungesättigten linearen (»aliphatischen«) Kohlenwasserstoff (Alken). Im einfachsten Fall entsteht so aus Benzol und Ethen das Styrol, der Baustein des Kunststoffes Polystyrol, der sowohl in Plastikgefäßen als auch in aufgeschäumter Form als Styropor zum Einsatz kommt.

Piraterie auf Molekülebene

Nach einigen Verbesserungen veröffentlichte Heck 1972 dann die Variante, die heute nach ihm benannt ist. Dabei wird der eine Reaktionspartner, der praktisch beliebiger Natur sein kann – sowohl aromatisch als auch aliphatisch –, als Bromverbindung eingesetzt. Da Brom einen starken Drang hat, seine äußere Elektronenhülle mit einem achten Elektron zu komplettieren, reißt es die gemeinsamen Bindungselektronen sozusagen an sich. Das macht das mit ihm verknüpfte Kohlenstoffatom elektronenarm (elektrophil). Das Alken mit seiner Doppelbindung (C=C) ist dagegen elektronenreich (nukleophil). Beide haben nach dem Prinzip, dass Gegensätze sich anziehen, deshalb eine natürliche Affinität zueinander. Aber erst das Palladium sorgt als Kuppler dafür, dass sie auch tatsächlich zusammenkommen.

Es ist das Verdienst von Heck, nicht nur die Reaktion gefunden und das Rezept optimiert, sondern zugleich den Mechanismus der Umsetzung aufgeklärt zu haben. Diese besteht im wesentlichen aus

drei Schritten. Zunächst reagiert die Bromverbindung mit einem Palladiumatom. Dabei schiebt sich das Metall zwischen den Kohlenwasserstoff und das Bromatom, so dass die Verknüpfung zwischen beiden schon gelöst ist. Das Alken ordnet sich dann längsseits zu dieser Dreiergruppe an – wie ein Piratenschiff, das zum Entern ansetzt. Dabei stellt es die Elektronenwolke seiner Doppelbindung dem Palladium teilweise zur Verfügung, das damit unbesetzte innere Elektronenschalen füllen kann, was eine schwache Wechselwirkung zwischen beiden ergibt.

Die räumliche Nähe begünstigt den zweiten Reaktionsschritt, die Verknüpfung eines Kohlenstoffatoms der Doppelbindung mit dem am Metall angelagerten Kohlenwasserstoff-Rest. Parallel dazu schnappt sich das Palladium das andere Ende der Doppelbindung, die bei der ganzen Aktion zur Einfachbindung degradiert wird. Es handelt sich hier um eine so genannte Insertionsreaktion, da sich die C=C-Gruppe zwischen den Kohlenwasserstoff-Rest und das Metall schiebt.

Im dritten Schritt gewinnt das Reaktionsprodukt durch Überlassen eines Wasserstoffatoms an das Palladium die Doppelbindung zurück. Über deren Elektronenwolke ist es jetzt wieder nur lose an das Edelmetallatom gebunden und kann sich von diesem leicht trennen. Am Palladium hängen danach nur noch der Wasserstoff und das Bromid, die sich zum Bromwasserstoff vereinigen und ablösen. Anschließend ist der Katalysator regeneriert, und eine neue Reaktionsrunde kann starten.

Negishi begann im Jahre 1976 damit, die Heck-Reaktion zu variieren, indem er als Nucleophil statt des Alkens eine

metallorganische Verbindung verwendete. Nach einigem Herumprobieren erkannte er, dass sich Zink-Komplexe besonders gut eignen. Die resultierende Umsetzung hat prinzipielle Ähnlichkeit mit der Grignard-Reaktion, die mit Magnesium-Verbindungen operiert und lange die einzige Möglichkeit zur direkten Verknüpfung von Kohlenstoffatomen war (Nobelpreis 1912). Allerdings ist Negishis Verfahren nicht nur spezifischer, sondern auch viel schonender und funktioniert deshalb mit einem erheblich breiteren Spektrum von Substanzen.

Mit dem Element Bor entdeckte Suzuki 1979 ein noch ideales Metall. Es bildet nur schwach nukleophile und ungewöhnlich stabile Verbindungen, die bei der Palladium-katalysierten Koppelung unter sehr milden Bedingungen äußerst selektiv reagieren. Dadurch eignet sich die Suzuki-Kupplung auch für hochempfindliche Ausgangssubstanzen, was sie für viele praktische Anwendungen vor allem in der Naturstoffsynthese attraktiv macht. Ein Vorteil ist auch die geringe Giftigkeit von Bor.

Alle drei Reaktionen werden inzwischen vielfach eingesetzt – sowohl in der Grundlagenforschung als auch im großen Maßstab in der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Mehr als 100 publizierte Synthesen benutzen die Heck-Reaktion, darunter eine der Totalsynthesen von Taxol, bei der sie zur schwierigen Schließung des ungewöhnlichen Achtrings dient. Die Negishi-Kupplung kam unter anderem bei der Synthese des antiviralen Wirkstoffs Hennoxazol A zum Einsatz, die Suzuki-Reaktion bei derjenigen des Antibiotikums Vancomycin. Die BASF benutzt sie außerdem bei der Herstellung des Fungizids Boscalid.

Michael Groß ist promovierter Chemiker und Wissenschaftsjournalist in Oxford (England).

Sand im Getriebe des Arbeitsmarkts

Den Preis für Wirtschaftswissenschaften der schwedischen Reichsbank im Gedenken an Alfred Nobel erhielten Peter A. Diamond, Dale T. Mortensen und Christopher A. Pissarides für die Analyse von Reibungseffekten vergeben, die das ideale Funktionieren von Märkten beeinträchtigen.

Von Christoph Pöppe

Versetzen wir uns zurück in schwarzmarktähnliche Verhältnisse. Viele Menschen haben Interesse an einer Ware, die man typischerweise nur einmal kauft, sagen wir einem Fernseher. Der wird von zahlreichen Händlern angeboten, die aber den nicht verhandelbaren Preis erst verraten, wenn man sie aufsucht und danach fragt. Dazu hat man nur einmal am Tag Gelegenheit. Die Preise sind nicht fix, sondern ändern sich täglich.

Der Kunde weiß nichts weiter über die Händler und kann sich auch mit seinesgleichen nicht verständigen. Die beste Strategie für ihn ist es deshalb, täglich nach dem Zufallsprinzip irgendeinen Händler aufzusuchen, bis der gebotene Preis ihm zusagt. Dabei sollte er sich innerlich eine Preisgrenze (einen *cut-off price*) setzen und auf jedes Angebot eingehen, das darunter liegt. Wenn er lange nichts Passendes findet, wird er seine Preisvorstellungen nach oben korrigieren oder eben aufs Fernsehen verzichten.

Vor allem wählt er seinen Grenzpreis etwas höher als den Betrag, zu dem er erwartet, ein Gerät zu finden. Schließlich will er für einen geringen und auch noch ungewissen Preisvorteil nicht endlos weitersuchen und all die Zeit ohne Fernseher verbringen. Diese vernünftige Entscheidung treffen alle anderen Interessenten auch – und stürzen sich damit kollektiv ins Unglück. Denn die Händler drehen an den Preisen und die Kunden an ihren Grenzpreisen, bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat. Dieses Gleichgewicht aber entspricht dem Monopolpreis, den ein Anbieter ohne Konkurrenten verlangen kann; er liegt im Allgemeinen deutlich über dem normalen Marktpreis.

Mit diesem Ergebnis überraschte 1971 der damals 31-jährige US-Wirtschaftswissenschaftler Peter A. Diamond vom Massachusetts Institute of Technology in Cambridge seine Fachkollegen. Märkte mit Reibungsverlusten durch Suchen (*»Markets with search friction«*)



MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY



KARLSTADT UNIVERSITÄT / LARS KRUSE



LONDON SCHOOL OF ECONOMICS / NIGEL STAD

Peter A. Diamond, Dale T. Mortensen und Christopher A. Pissarides entwickelten ein Modell des Arbeitsmarktes, das zum Standard in den Wirtschaftswissenschaften geworden ist.

blieben fortan sein Thema, und seine Erkenntnisse trugen ihm nun den Wirtschaftsnobelpreis ein – gemeinsam mit seinem Landsmann Dale T. Mortensen von der Northwestern University in Evanston (Illinois) und seinem zypriotisch-britischen Kollegen Christopher A. Pissarides von der London School of Economics, mit denen er jahrzehntlang eng zusammengearbeitet hat.

Die Physik als Vorbild

Der Ausdruck »Reibung« für alles, was dem effizienten (»reibungslosen«) Funktionieren eines Marktes im Wege steht, leuchtet unmittelbar ein, und am liebsten würden die Ökonomen damit so umgehen wie die Physiker. Die verstehen darunter eine rein empirisch ermittelte Kraft, die mit der Geschwindigkeit zunimmt und mit einem geeigneten Proportionalitätsfaktor die Realität gut beschreibt. Wie sie durch das Verhalten der mikroskopischen Oberflächenrauigkeiten der reibenden Flächen zu Stande kommt, ist eine zweitrangige Frage.

Eine solche »mikroskopische« Erklärung hatte Diamond mit seinem Schwarzmarktmodell unternommen und dabei etliche wenig plausible Annahmen gemacht, die nur dadurch zu rechtfertigen sind, dass man gut damit rechnen kann. Seiner Realitätsferne zum Trotz lieferte das Modell einen großen Erkenntnisge-

winn: Es zeigte, dass eine beliebig kleine Reibung eine sprunghafte Zustandsänderung – vom Gleichgewichtspreis eines effizienten Marktes zum Monopolpreis – bewirken kann.

Die Ursachen der ökonomischen Reibungseffekte sind zu vielfältig, um sich allesamt mathematisch modellieren zu lassen. Im eingangs zitierten Beispiel hindert der mangelhafte Informationsfluss den Markt daran, effizient im Sinn der Theorie zu funktionieren; in einem anderen existiert dieser Markt gar nicht, weil die dort feilzubietenden Waren erst noch produziert werden müssen. Wieder ist das Szenario etwas exotisch.

Die Bewohner einer einsamen Insel ernähren sich von Kokosnüssen, aber ein Tabu verbietet ihnen den Verzehr selbstgepflückter Früchte. Sie werden also die beträchtliche Mühe, eine Palme zu erklettern, nur auf sich nehmen, wenn sie für ihre Nüsse Tauschpartner finden. In dieser Situation gibt es abweichend von der klassischen Theorie gleich mehrere ökonomische Gleichgewichtszustände: Wenn alle Inselbewohner auf dem Boden sitzen und hungern, besteht für keinen ein Anreiz, ihr Verhalten zu ändern. Das gleiche gilt für den Zustand der Vollbeschäftigung, in dem alle fleißig auf die Palmen klettern und in Saus und Braus leben.

Eine kleine Änderung holt das »Diamond coconut model« von der fernen In-

Springers Einwürfe

Folgt Politik Gesetzen?

Umriss einer sozialen Evolutionstheorie

Politisches Handeln gleicht dem Stochern im Nebel. Experten liefern Politikern Prognosen, aber die sind laut Karl Valentin besonders schwierig, wenn sie die Zukunft betreffen. Auch der Blick in die Vergangenheit hilft wenig, weil ihn ideologische Voreingenommenheit trübt. Kann es überhaupt eine Wissenschaft der Politik geben?

In den 1950er Jahren malte sich der Sciencefiction-Autor Isaac Asimov die »Psychohistorik« aus, mit deren Hilfe ein fiktiver Zukunftsforscher den baldigen Zerfall seiner galaktischen Zivilisation vorherzusagen vermag. Asimov skizzierte seine politische Wissenschaft nach dem Vorbild der statistischen Thermodynamik: Den Atomen entsprechen die sozialen Individuen, und deren kollektives Verhalten soll sich ähnlich vorhersagen lassen wie Druck und Temperatur eines Gases.

Etwas später spekulierte der polnische Autor Stanislaw Lem, die seinerzeit moderne Kybernetik könnte zur Erklärung und Steuerung politischer Prozesse beitragen. Auch über diese utopische Idee ist die Zeit hinweggegangen.

Jetzt hat ein Team um die britischen Anthropologen Thomas E. Currie und Ruth Mace den Versuch unternommen, empirische Methoden der Evolutionstheorie auf soziale Systeme anzuwenden. Dazu erstellten die Forscher einen Stammbaum der riesigen austronesischen Sprachfamilie, die sich um 3200 v. Chr. von Taiwan aus über die Philippinen und Indonesien bis nach Südostasien, die pazifischen Inseln und Neuseeland ausgebreitet hat. Heute umfasst sie 1200 Sprachen, die von ganz unterschiedlichen Gesellschaften verwendet werden – von führerlosen, egalitären Gruppen über Stammesfürstentümer bis zu hierarchischen Staatsgebilden (*Nature*, Bd. 467, S. 801).

Aus den phylogenetischen Daten rekonstruierten die Forscher, wie die Gesellschaftsformen einander historisch folgten: Gab es große Sprünge von ganz einfachen Verwandtschaftsgruppen zu hochkomplexen Staaten? Schritt die Entwicklung immer von simplen zu hierarchischen Formen fort, oder kamen auch Rückfälle vor?

Die Antwort: Höherentwicklung verläuft niemals sprunghaft, sondern immer graduell. Eine führerlose Verwandtengruppe schafft unter keinen Umständen den Sprung zum komplexen Fürstentum; ebenso wenig wird ein einfacher Stamm direkt zum Staat. Alle evolutionären Zwischenschritte sind nötig. Stets geht es – wenn eine Höherentwicklung stattfindet – von der Gruppe zum einfachen Stamm, von dort zum komplexen Stammesfürstentum und schließlich zum hierarchischen Staat.

Doch die soziale Evolution ist keine Einbahnstraße. Immer wieder kommt es zu politischen Rückfällen: Staaten können durchaus wieder in Stämme zerfallen – oder noch weiter zurück in simple Gruppen. Manchmal geschieht das relativ sanft, als stille Auflösung einer etablierten Hierarchie, manchmal aber auch gewaltsam als katastrophaler Sturz eines mächtigen Reichs. Offenbar ist die Zunahme von Komplexität immer ein umständlicher, zeitaufwändiger Prozess – in der Sozialsphäre ebenso wie in der biologischen Evolution. Hingegen kann der Einsturz eines hoch aufgetürmten und diffizil strukturierten Gesellschaftsgebildes manchmal das Werk eines historischen Augenblicks sein.

Der enorme Forschungsaufwand der britischen Gruppe hat damit erstmals zuverlässige Aussagen über politische Evolutionsprozesse erbracht. Natürlich folgt aus so allgemeinen Resultaten zunächst nicht viel für die konkrete Tagespolitik. Immerhin lässt sich eines lernen: Jedes komplexe Staatsgebilde ist Produkt eines langen, etappenreichen historischen Entwicklungsvorgangs, aber das bietet keine Gewähr dafür, dass es ebenso lange weiter bestehen wird.



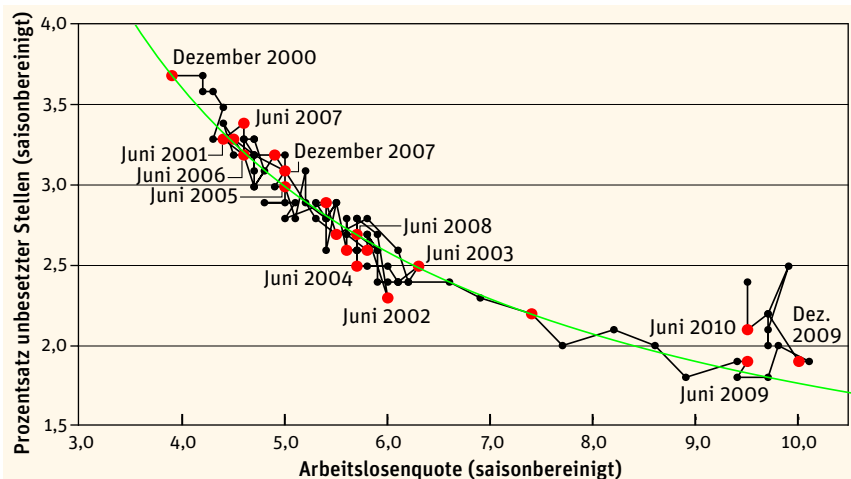
Michael Springer

sel in die moderne Industriegesellschaft: Die Produkte sind nicht alle gleich, aber nach wie vor orientieren sich die Produzenten an der Menge, die sie erwarten absetzen zu können. Die wiederum ist proportional der Kaufkraft und damit der Aktivität der anderen Hersteller. Damit wird der kollektive Arbeitseinsatz aller Produzenten Gegenstand einer Selffulfilling Prophecy. Auch in diesem Fall existieren verschiedene Gleichgewichte.

Während sich der Staat nach der klassischen Theorie aus allen Märkten möglichst herauszuhalten hat, liefert das *cocoonut model* einen guten Grund für sein Eingreifen: Er soll und kann die Wirtschaft von einem ungünstigen zu einem wünschenswerten Gleichgewicht treiben – etwa durch eine Ankaufgarantie für Kokosnüsse. Indem Diamond, Mortensen und Pissarides die Insulaner in Kokosnussbesitzer (»Beschäftigte«) und Palmen sucher (»Arbeitslose«) einteilen und plausible Bedingungen für den Übergang vom einen zum anderen Zustand aufstellten, gelangten sie zu dem überaus einflussreichen Modell des Arbeitsmarkts, das heute ihre Initialen trägt: DMP-Modell.

Auch bei florierender Wirtschaft ist ein erheblicher Teil der Erwerbsfähigen ohne Arbeit. Die neoklassische Theorie führt das auf die marktverzerrende Wirkung von Institutionen wie Tarifbindung, Kündigungsschutz und Arbeitslosengeld zurück. Nach deren Abschaffung sollten die Löhne auf das (Gleichgewichts-)Niveau sinken, das jedem, der zu diesem Lohn noch arbeiten will, auch Arbeit verschafft. Laut DMP-Modell ist dieser Schluss nicht zwingend, wenn Reibung im System steckt.

Und das ist allein schon deshalb der Fall, weil es Zeit und Mühe kostet, zu einem Bewerber einen passenden Job zu finden oder umgekehrt. Da man die Verschiedenheit der Menschen und der Arbeitsanforderungen schlecht mathematisch erfassen kann, ist das eingangs beschriebene Schwarzmarktmodell ein durchaus plausibler zweitbesten Ansatz: Erst wenn sich Kandidat und Arbeitgeber begegnen, können sie feststellen, ob ein Arbeitsvertrag für beide ein Geschäft ist. Den Zugewinn daraus teilen sich die zwei Parteien nach einer Formel, die von der Stärke ihrer jeweiligen Verhandlungsposition (*bargaining power*) abhängt. Löhne können jederzeit neu ausgehandelt werden, Kündigungsschutz gibt es nicht;



CHRISTOPH PÖPPE NACH U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS

Arbeitslosigkeit und offene Stellen können in erheblichem Umfang koexistieren. Die Daten des US-Arbeitsmarkts aus den letzten zehn Jahren folgen sogar ziemlich genau einer theoretischen Kurve (grün), die nach dem britischen Ökonomen William Beveridge (1879–1963) benannt ist. Nur für die Abweichung nach oben im Gefolge der aktuellen Finanzkrise gibt es noch keine Erklärung.

man trennt sich – ohne Abfindung –, wenn die Stelle der Firma nichts mehr einbringt. Immerhin ist das Arbeitslosengeld Bestandteil des Modells: Es zählt ebenso wie die Gelegenheit zur Hausarbeit, zum Ausschlafen und zu anderen nützlichen oder erfreulichen Tätigkeiten zu den Vorteilen der Nichtbeschäftigung, welche die Verhandlungsposition des Kandidaten verbessern.

In diesem ziemlich frühkapitalistischen Modell besteht der Reibungseffekt darin, dass Versuche zur Paarung von Mensch und Job nicht unbedingt häufig stattfinden oder gar Erfolg haben. Das gilt umso mehr, je weniger Kandidaten und je weniger freie Stellen es gibt.

Diamond, Mortensen und Pissarides gehen noch einen Abstraktionsschritt weiter. Sie modellieren die Gesamtheit der Arbeitsfähigen durch ein Kontinuum, vergleichbar einer Flüssigkeit, die von dem Becken A der Arbeitsuchenden in das Becken B der Beschäftigten strömen kann und umgekehrt. Wie weit das Ventil für den Fluss von A nach B geöffnet ist, hängt, wie Diamond, Mortensen und Pissarides mit einigen Zusatzannahmen zeigen, von einer einzigen Größe ab: der Angpanntheit (*tightness*) des Arbeitsmarkts, also dem Verhältnis von offenen Stellen zu Arbeitsuchenden. Je mehr Jobs

ein Kandidat zur Auswahl hat, desto enger ist das Ventil eingestellt; doch bei genügend Druck, das heißt einer hohen Zahl an Arbeitsuchenden, lässt es immer noch relativ viel Flüssigkeit durch. All das zusammen ergibt das DMP-Modell.

Die Ökonomen konnten dieses Modell – ganz wie die Physiker das Reibungsgesetz – unter Anpassung einiger Parameter an der Realität verifizieren und sogar für Prognosen nutzen. Offenbar bildet es die ökonomischen Vorgänge so gut ab, dass es heute allgemein als *benchmark model* gilt, also als der theoretische Ansatz, an dem sich alle anderen zu messen haben. Insbesondere erklärt es auch ohne Arbeitsschutzmaßnahmen, dass Arbeitslose und – dazu passende – offene Stellen in erheblicher Anzahl koexistieren können (Bild). Viele Varianten des *benchmark model*, die für Arbeitsmärkte mit Besonderheiten entwickelt wurden, unterstreichen seine Brauchbarkeit.

Schon vor der Vergabe des Nobelpreises hatte sich also die Leistung der Preisträger in der Fachwelt herumgesprochen – andernorts weniger. Anfang August widersprach der US-Senat der Nominierung von Peter Diamond für einen der freien Posten im Vorstand der amerikanischen Notenbank durch Präsident Barack Obama. Die Begründung, es mangle dem Kandidaten an Erfahrung in Makroökonomie und vor allem in Geldpolitik, ist einigermaßen kurios – hat Diamond doch einen wesentlichen Teil seines Berufslebens der Theorie und Praxis der Sozialversicherungssysteme gewidmet und auch den derzeitigen Notenbankchef, Ben Bernanke, bei der Promotion betreut.

Christoph Pöppe ist Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.

DIE SPEKTRUM SAMMELKASSETTE



Die Sammelkassette von **Spektrum** bietet Platz für 12 bis 15 Hefte. Sie können darin alle Ihre **Spektrum**-Hefte und -Sonderhefte aufbewahren. Die stabile Sammelkassette ist aus schwarzem Kunststoff und kostet € 9,50 (zzgl. Inlandsversand).

www.spektrum.com/sammeln

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH | Slevogtstraße 3–5 | 69126 Heidelberg | Tel.: 06221 9126-743 | Fax: 06221 9126-751 | service@spektrum.com

Spektrum
DER WISSENSCHAFT

Wissenschaft aus erster Hand