

TEILCHENPHYSIK

# Der idealen Flüssigkeit auf der Spur

Neuen Berechnungen zufolge ist kein Materiezustand so wenig »zäh« wie das Quark-Gluon-Plasma.

VON TINA SCHLAFLY

**T**heoretische Physiker versuchen seit Langem, das so genannte Quark-Gluon-Plasma zu verstehen. In diesem Zustand befanden sich die Elementarteilchen wenige Sekundenbruchteile nach dem Urknall. Unter normalen Umständen sind Quarks und Gluonen nicht einzeln beobachtbar, sondern treten nur gebunden auf. Im Plasma dagegen bewegen sie sich nahezu frei.

Eine Heidelberger Forschergruppe um Jan M. Pawlowski stellt nun eine Methode vor, mit der die Eigenschaften dieser Materie berechnet werden können (*Physical Review Letters* 115, 112002, 2015). Anders als die meisten bisherigen Verfahren ist ihres für beliebige Temperaturen anwendbar. Die Forscher ermitteln damit, wie sich das Plasma unter extrem dichten und heißen Bedingungen, wie unmittelbar nach dem Urknall, verhält. Außerdem können sie nachvollziehen, wie sich die Eigenschaften beim Abkühlen verändern. Das ist besonders wichtig, um manche Experimente an Teilchenbeschleunigern zu verstehen.

Im Jahr 2005 haben Forscher am Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) in den USA das Quark-Gluon-Plasma erstmals künstlich hergestellt. Die Experimentatoren beschleunigten Goldteilchen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit und ließen sie dann zusammenstoßen. Wenn solche Partikel kollidieren, steigt die Temperatur auf einige Billionen Kelvin. Unter derartigen Bedingungen lösen sich Protonen und Neutronen in ihre Bestandteile auf, in Quarks und

Gluonen. Für kurze Zeit bilden diese ein Quark-Gluon-Plasma. Nach der Kollision kühlt dieses ab. Es formen sich die üblichen Zweier- und Dreiergruppen von Quarks, die so genannten Hadronen, zu denen auch die Bausteine der Atomkerne zählen.

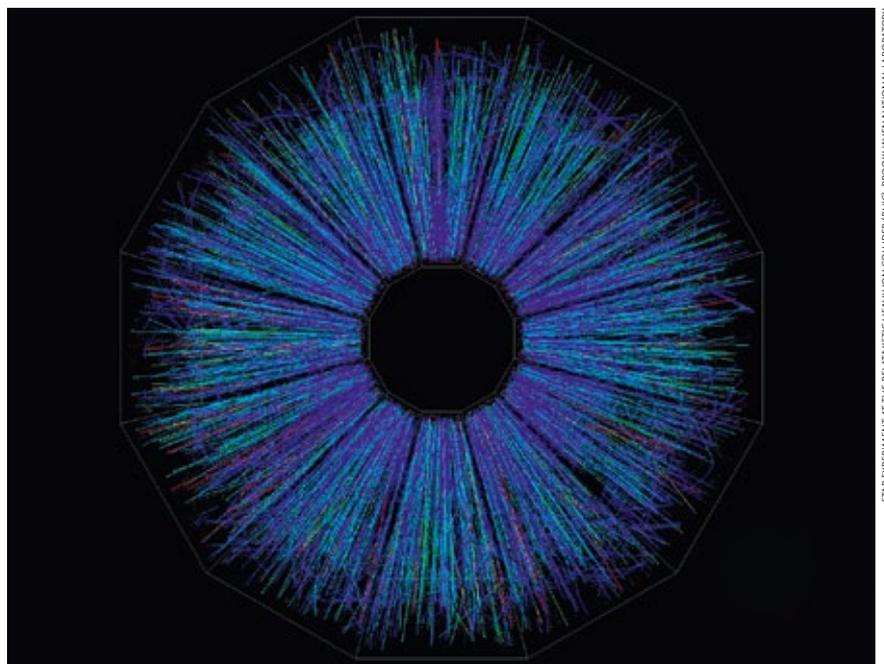
## Überraschung im Experiment

Auf diese Weise haben die Forscher am RHIC gezeigt, dass Quarks und Gluonen abhängig von der Temperatur in verschiedenen Aggregatzuständen auftreten: eingesperrt in Hadronen oder frei im Plasma. Wie beim Wasser gibt es zwischen diesen Zuständen einen Phasenübergang. Das US-Experiment offenbarte eine überraschende Eigenschaft der Elementarteilchen: Anstatt, analog zum Wasserdampf, zu einem Gas zu werden, erscheinen sie im Plasma wie eine Flüssigkeit. Zumindest modelliert die Hydrodynamik, die das Verhalten von Fluiden beschreibt, die Messergebnisse sehr gut. Eine wichtige Frage da-

bei betrifft die innere Reibung der Flüssigkeit, die sich in Viskosität äußert. In »idealen« Fluiden ist diese Zähigkeit praktisch null.

Um verschiedene Stoffe zu vergleichen, benutzen die Wissenschaftler meist nicht allein die Viskosität, sondern das Verhältnis aus ihrem Wert und dem der Entropie; Letztere ist ein Maß für die Unordnung im System. Dieses Verhältnis kommt in den hydrodynamischen Gleichungen vor und gibt Auskunft über die Qualität einer Flüssigkeit: Je kleiner der Wert, umso »idealer« das Fluid. Es war mit Teilchenbeschleunigern allerdings bislang nicht möglich, das Verhältnis für das Quark-Gluon-Plasma zu messen. Stattdessen bestimmten es die Experimentatoren, indem sie ihre Daten mit hydrodynamischen Simulationen verglichen. Dort kann man diesen Parameter frei variieren. Dabei stellten sie fest, dass nur ein unerwartet niedriger Wert zu den Ergebnissen passt. Demnach wäre das

Bei Teilchenkollisionen am RHIC entsteht ein heißes Quark-Gluon-Plasma. Es kühlt sich rasch ab und bildet Millionen Partikel, deren Flugbahnen der Detektor aufzeichnet (rechts: Blick in Beschleunigerrichtung; Seite gegenüber: seitliche Ansicht).



STAR EXPERIMENT AT THE RELATIVISTIC HEAVY ION COLLIDER (RHIC), BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY

Quark-Gluon-Plasma eine beinahe ideale Flüssigkeit.

Diese Vermutung wollten die Heidelberger Physiker nun dadurch überprüfen, dass sie das Viskositäts-Entropie-Verhältnis aus der fundamentalen Theorie der Quarks und Gluonen berechnen, der so genannten Quantenchromodynamik. Dass die Elementarteilchen in mehreren Aggregatzuständen auftreten, ist hier eine besondere Herausforderung. Zusätzlich erschweren es die temperaturabhängigen Kräfte zwischen den Teilchen, ihre Eigenschaften zu ermitteln. In einem heißen Quark-Gluon-Plasma ist die Wechselwirkung beispielsweise schwach. Dort lässt sich eine Standardmethode der theoretischen Physik anwenden, die Störungstheorie. Sie beruht darauf, ein kompliziertes System in einen Teil aufzuspalten, der mit wenig Aufwand berechnet werden kann, und eine Abweichung davon. Ist Letztere klein, ist das einfache System eine gute Näherung für das komplizierte. Die Forscher können also freie Quarks und Gluonen als Beschreibung verwenden. Mit der Störungstheorie lässt sich dann eine Abschätzung für die schwierigere Situation ermitteln, in welcher die Elementarteilchen doch ein wenig interagieren.

Für die Quark-Gluon-Plasma-Daten vom RHIC reicht die Störungstheorie al-

lerdings nicht aus. Die Temperaturen in diesem Experiment sind zwar extrem hoch im Vergleich zu Alltagsbedingungen, aber immer noch niedrig genug, dass die Kraft zwischen den Elementarteilchen wieder die Oberhand gewinnt und sich auch einige Hadronen ins Plasma mischen. Dadurch funktioniert die Beschreibung über freie Quarks und Gluonen nicht mehr. Für genau diesen Übergangsbereich interessieren sich Pawlowski und seine Kollegen.

### Wie ein theoretischer Blick durchs Mikroskop

Der Durchbruch der deutschen Wissenschaftler besteht darin, dass sie eine Technik entwickelt haben, die überall anwendbar ist – vom heißen Quark-Gluon-Plasma bis zur Raumtemperatur. Das Team beschreibt sie als die mathematische Version eines starken Mikroskops, durch das man auf ein Stück Materie schaut: Bei maximaler Auflösung beobachtet man Quarks und Gluonen; in einem etwas größeren Bildausschnitt verschwinden diese Details, stattdessen erscheinen Protonen und Neutronen. Auf der nächsten Stufe verschwimmen diese wiederum zu Atomen.

Die Beschreibungen auf den verschiedenen Größenordnungen werden durch das Verfahren von Pawlowski und seinen Kollegen – die so genannte

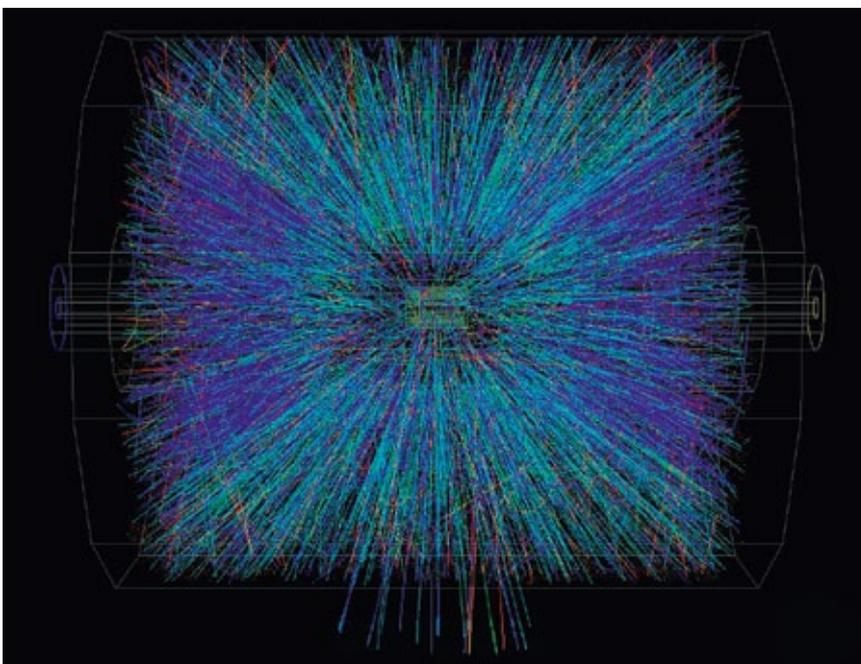
Renormierungsgruppe – mathematisch miteinander verknüpft. Dazu definieren die Forscher das physikalische System auf der untersten Ebene durch die Grundgleichungen der Quantenchromodynamik. Die Lösung der Renormierungsgruppen-Gleichung beschreibt dann, wie die Theorie bei den anderen Zoomfaktoren aussieht. So lassen sich aus Quarks und Gluonen komplexe Objekte wie Protonen und Neutronen ableiten, und auch Messgrößen wie die Viskosität. Die rechnerischen Ergebnisse zeigen zudem, ob ein Quark-Gluon-Plasma vorliegt oder ob sich Hadronen bilden. Es können also beide Phasen und sogar ihr Übergang untersucht werden.

Zunächst beschränkte sich das Forscherteam in einem ersten Schritt auf die so genannte reine Eichtheorie, die nur Gluonen betrachtet. Obwohl keine Quarks vorkommen, hat diese Theorie viele Eigenschaften mit der Quantenchromodynamik gemeinsam. Das liegt an einer Besonderheit der Gluonen: Ihre Hauptaufgabe ist es, die Wechselwirkung zwischen den Quarks zu vermitteln (siehe SdW 12/2015, S. 58). Allerdings interagieren die »Klebstoffteilchen« auch direkt miteinander. Mehrere von ihnen können sich zu so genannten Glueballs zusammenschließen, die den Protonen und Neutronen der Quantenchromodynamik entsprechen. Und auch Glueballs zerfließen bei hohen Temperaturen in ein Plasma – die Eichtheorie besitzt also ebenfalls einen Phasenübergang.

Pawlowski und sein Team haben nun die Qualität des Gluon-Plasmas als Flüssigkeit ermittelt. Sie ändert sich mit der Temperatur und ist knapp über dem Phasenübergang am besten. Gerade dieser Bereich war bislang nicht zugänglich. Das Verhältnis von Viskosität und Entropie ist dort zirka zehnmal kleiner als bei Wasser und nur doppelt so groß wie der von der Stringtheorie vorhergesagte Minimalwert. Eine perfekte Flüssigkeit hätte genau diesen Wert.

Wie auf Grund der Störungstheorie erwartet, können die Forscher das Resultat bei sehr hohen Temperaturen allein durch die Wechselwirkung von

STAR EXPERIMENT AT THE RELATIVISTIC HEAVY ION COLLIDER (RHIC), BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY



Gluonen erklären. Bei niedrigen Temperaturen beschreibt ein Gas aus Glueballs die Situation am besten. Für den Übergangsbereich, wo sich die beiden Szenarien überlagern, können die Physiker aus ihren Daten eine einfache Formel ableiten. Diese ermöglicht es der Gruppe schließlich, im zweiten Schritt eine Abschätzung für den realen Fall zu geben, also für das gemeinsame Auftreten von Gluonen und Quarks. Bei hohen Temperaturen bestimmen demzufolge deren Wechselwirkungen als eigenständige Teilchen das Resultat, bei geringen Temperaturen tragen vorwiegend Hadronen zum Ergebnis bei. Das

Verhalten in der Nähe des Phasenübergangs schätzen die Forscher ab, indem sie die beiden Bereiche wie in der Eichtheorie mischen. So kommt das Team zu der Vorhersage, dass das Verhältnis von Viskosität und Entropie im Quark-Gluon-Plasma ungefähr 20 Prozent größer ist als im reinen Gluon-Plasma. Dieses Ergebnis liegt immer noch sehr nahe an dem erwähnten Minimalwert – in keinem realen System wurde je ein niedrigerer gemessen. Das Quark-Gluon-Plasma ist also tatsächlich fast ideal viskos.

Die Theoretiker liefern somit einen starken Hinweis darauf, dass es sich

beim Quark-Gluon-Plasma um den dünnflüssigsten Materiezustand handelt, der bisher vermessen wurde. In Experimenten am RHIC und am Large Hadron Collider in der Schweiz werden Forscher das Plasma in Zukunft genauer unter die Lupe nehmen (siehe SdW 5/2011, S. 86). Beispielsweise wollen sie herausfinden, wie sich die Eigenschaften bei niedrigen und hohen Temperaturen verändern. Auch dafür haben die Heidelberger mit ihrer Methode bereits überprüfbare Vorhersagen aufgestellt.

**Tina Schläpfl** ist promovierte Physikerin und Wissenschaftsjournalistin in Heidelberg.

## SYNTHETISCHE BIOLOGIE

# Ringschluss bei Proteinen

Um Eiweiße weniger anfällig gegenüber Hitze und Verklumpung zu machen, verknüpfen Forscher ihre beiden Enden zu einem zirkulären Molekül. Für die Weiterentwicklung dieser Methode erhielten zwölf Studierende den Hauptpreis in einem Nachwuchswettbewerb.

VON JANOSCH DEEG

Schlägt man ein Ei in eine heiße Pfanne, härtet das Eiweiß schnell aus und färbt sich weiß. Das liegt an den darin enthaltenen Proteinen, deren dreidimensionale Struktur sich durch die Hitze irreversibel verändert. Sie denaturieren, wie es im Fachjargon heißt. Proteine sind große Moleküle aus Aminosäureketten, die sich zu einer spezifischen räumlichen Anordnung falten. Wenn ungünstige Umgebungsfaktoren diese zerstören, büßt das Eiweiß seine Funktion ein. Bei biotechnologischen Verfahren in der Industrie, Forschung oder Medizin müssen die Verantwortlichen dies im Blick behalten. Beispielsweise kommt in der Papier- und Textilindustrie das Protein Xylanase zum Einsatz, das einen wesentlichen Bestandteil von pflanzlichen Zellwänden zersetzt. Hitze, extreme pH-Werte oder Lösungsmittel schädigen das Protein – eine höhere Widerstandsfähigkeit wäre deshalb nützlich.

Im Sommer 2014 beschlossen zwölf Heidelberger Studierende, sich mit

dem Problem der Stabilisierung von Proteinen auseinanderzusetzen. Die Gruppe suchte nämlich gerade nach einem passenden Forschungsprojekt, um an einem studentischen Nachwuchswettbewerb der iGEM (Abkürzung für International Genetically Engineered Machine) Foundation in Boston, USA, teilzunehmen. Teams aus aller Welt präsentieren dort alljährlich ihre kreative wissenschaftliche Arbeit aus dem Bereich der synthetischen Biologie.

»Bei unserer Recherche stießen wir auf den Vorteil ringförmiger Proteine«, berichtet Carolin Schmelas. Gemeinsam mit ihren Kommilitonen stellte sie fest, dass zirkuläre, also ringförmig in sich geschlossene Proteine weniger schnell denaturieren als solche mit zwei offenen Enden, wie sie fast alle in der Natur auftretenden Proteine aufweisen – auch die Xylanase. Mit dieser Erkenntnis begann eine Erfolgsgeschichte. »Wir wollten Eiweiße zu einem Ring verschließen, um sie dadurch widerstandsfähiger zu machen«, erinnert sich

Schmelas an den Beginn ihres Vorhabens. Und ihre Kollegin Anna Huhn ergänzt: »Die Denaturierung des Proteins beginnt meist an den losen Enden, wie bei einem Wollknäuel, das man von dort aus entrollt. Verknüpft man die Endstücke, stellen diese keine Angriffsfläche mehr dar.«

### Die Form muss erhalten bleiben

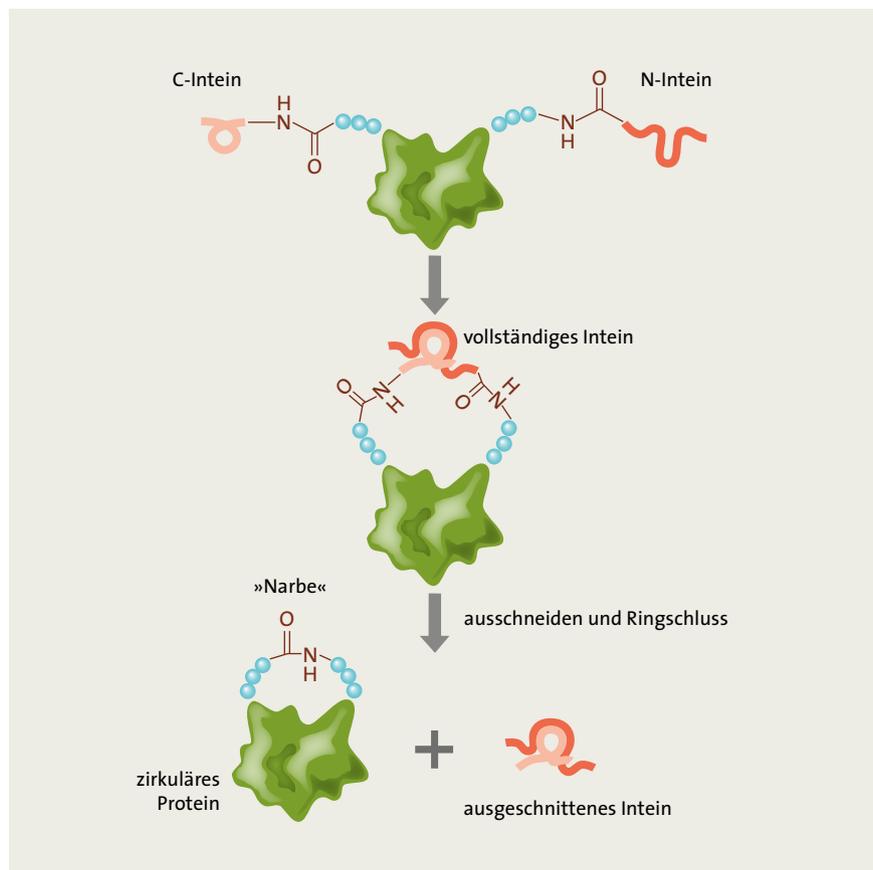
Das Forscherteam um Barbara Di Ventura und Roland Eils vom Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) und der Universität Heidelberg veröffentlichte nun auf dem Projekt basierende Ergebnisse (*Molecular BioSystems* 10.1039/C5MB00341E, 2015). In der Tat gelang es der Gruppe, die beiden Endstücke der Xylanase zusammenzufügen und das Enzym damit strapazierfähiger zu machen. Wichtig dabei ist, die dreidimensionale Struktur zu erhalten – das molekulare Knäuel darf nicht zu sehr deformiert werden. Wie die Wissenschaftler berichten, dürfte das auch bei vielen anderen Proteinen möglich

sein: Die beiden Enden der Aminosäurekette (fachlich: Termini) liegen häufig so dicht beieinander, dass sie sich für einen Ringschluss anbieten. Zudem können passende Verbindungsmoleküle – auch Linker genannt – größere Abstände überbrücken und so sicherstellen, dass sich das Eiweiß nicht verformt und dadurch seine Funktion einbüßt.

Das Team von Molekularbiologen, dem auch die beiden Studentinnen angehören, verwendete für den Ringschluss ein natürliches Werkzeug von Zellen, so genannte Inteine. Dabei handelt es sich um Proteinabschnitte, die sich selbsttätig aus der molekularen Kette herausschneiden und anschließend die dadurch entstandenen losen Enden wieder miteinander verknüpfen können. Diese Fähigkeit nutzten die Wissenschaftler für ihre Zwecke: Zunächst koppelten sie jeweils einen von zwei komplementären Teilen eines Inteins an die zwei Termini der Xylanase an. Die beiden angebondenen Fragmente verbanden sich daraufhin zum intakten Intein, das sich wiederum aus dem Enzym herauslöste und den Ringschluss. Eine zirkuläre Xylanase war entstanden.

Um ihr Ziel zu erreichen, schleusten die Forscher den genetischen Bauplan des Proteins plus die Anweisung, die Inteinfragmente anzuhängen, über so genannte Plasmide in Bakterien ein. Die Mikroben begannen dann, das Zielprotein inklusive der Inteinteile zu produzieren. »Bislang musste solch ein Plasmid für jedes einzelne Protein maßgeschneidert werden, um zu vermeiden, dass unerwünschte Aminosäuresequenzen an der Nahtstelle zurückblieben – gewissermaßen als Narbe«, erklärt Max Waldhauer, einer der Autoren des Artikels.

Dies änderte das Team nun: »Wir haben ein effizientes Klonierungsverfahren entwickelt, mit dem wir ganz einfach Plasmide für beliebige Proteine mit verschiedenen Linkern basteln können«, so Waldhauer. Die Forscher konstruierten ein Standard-Empfängerplasmid, in das sich mit Hilfe spezieller molekularer Scheren alle möglichen Proteine in nur einem Schritt einbauen



An den Enden des Proteins hängen zwei komplementäre Inteinteile. Fügen sie sich zum intakten Intein zusammen, schneidet dieses sich unter Ringschluss des Proteins heraus. Früher blieben oft unerwünschte Aminosäuren als Narbe an der Naht zurück (blau).

lassen, ohne dass Narbensequenzen übrig bleiben. Damit das Verfahren mit zahlreichen Inteinen kompatibel ist, verwendeten sie dabei solche Aminosäuren, die in vielen verschiedenen Inteinen gleich oder ähnlich sind.

### Wie lang darf das Verbindungsstück sein?

Diese Idee eines auf Inteinen basierenden »Werkzeugkastens« hatten die Heidelberger Studierenden den Juroren in Boston präsentiert. Außerdem hatte die junge Truppe eine Software entworfen, welche die benötigte Linkerlänge berechnet, falls nennenswerte Distanzen zwischen den beiden Termini überbrückt werden müssen.

In ihren Experimenten mit verschiedenen ringförmigen Xylanaseproteinen fanden die Forscher heraus, dass Moleküle mit einem Linker aus nur einer Aminosäure eine sieben Grad hö-

here Temperatur aushalten als die Ausgangsversion. Bei einem langen Verbindungsstück hingegen verzeichneten sie keine merkliche Änderung im Vergleich zur natürlichen Variante. Die Art des Linkers beeinflusst also die Thermostabilität eines ringförmigen Proteins. Bemerkenswert ist, dass die ringförmige Variante in Versuchen deutlich weniger anfällig gegenüber Hitzeschocks war: Die Wissenschaftler erwärmten dabei die Eiweißmoleküle schlagartig auf Temperaturen bis zu 90 Grad Celsius und kühlten sie nach einigen Minuten wieder schnell auf 37 Grad ab. Im Anschluss war kaum noch eines der linearen Proteine funktional, dagegen taten bis zur Hälfte der ringförmigen Moleküle weiterhin ihren Dienst. Das ist darauf zurückzuführen, dass die zirkuläre Form bei dem Hitzeschock viel weniger verklumpte als die natürliche.

In ihrer Veröffentlichung resümieren die Molekularbiologen, dass die ringförmige Xylanase im jetzigen Zustand zwar noch keine direkte industrielle Verwendung finden kann, da die Hitzeresistenz noch nicht genügend gesteigert ist. Jedoch vereinfache ihre Methode grundlegend die Fertigung zahlreicher zirkulärer Proteine, die für die Biomedizin und Biotechnologie von Nutzen sein können. Zudem könne

man die Zirkularisierung mit anderen Maßnahmen zum Stabilisieren von Proteinen – etwa spezifische Mutationen – kombinieren und damit für die Industrie interessante Enzyme wesentlich widerstandsfähiger machen.

Die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der Inteinmethode hatte bereits die Preisrichter beim iGEM-Wettbewerb beeindruckt: Das Projekt der Heidelberger Studierenden mit dem

spektakulären Namen »Feuerring« räumte den Hauptpreis ab. Wahrscheinlich lag das auch an der damals vorgestellten ersten Anwendung: einer hitzestabileren Version der DNA-Methyltransferase. Mit dieser ließen sich unter Umständen epigenetische Vorgänge (SdW 7/2015, S. 19) beeinflussen.

**Janosch Deeg** ist promovierter Physiker und Wissenschaftsjournalist in Heidelberg.

## WISSENSCHAFTLICHES PUBLIZIEREN

# Faule Äpfel in der Datenbank

Über Jahre hinweg sind Artikel zu wissenschaftlichen Konferenzen eingereicht und veröffentlicht worden, deren Inhalt aus purem und erkennbarem Unsinn bestand – erstellt von einer eigens dafür geschriebenen Software.

VON ELKE REINECKE

Heute hätte Herr zu Gutenberg mit seiner schlichten Abkupfermethode keine Chance mehr auf einen Dokortitel. Sowohl Universitäten als auch Dokumentenserver wie [arXiv.org](http://arxiv.org) lassen wissenschaftliche Arbeiten inzwischen standardmäßig durch spezielle Software auf Plagiate überprüfen. Gibt es denn dann noch Auswege für jemanden, der sich zwar mit akademischem Ruhm schmücken will, aber die Mühen des ernsthaften wissenschaftlichen Arbeitens scheut? Die Antwort darauf ist wieder eine Software: Er könnte es mit SCiGen versuchen (die Abkürzung steht für »science generator«, »Wissenschaftserzeuger«).

Das allgemein zugängliche Computerprogramm SCiGen (<http://pdos.csail.mit.edu/scigen/>) produziert einen Text

mit dem für wissenschaftliche Arbeiten üblichen Aufbau; er besteht aus grammatikalisch korrekten englischen Sätzen, die typische Fachwörter enthalten und jeden Plagiatstest bestehen, denn sie werden für jede Anforderung neu mit dem Zufallszahlengenerator ausgewürfelt. Erst wer versucht, die ersten Absätze zu verstehen, erkennt – dann allerdings mühelos –, dass es sich um kompletten Unsinn handelt.

Ursprünglich war die Software ein Schelmenstreich dreier Doktoranden der Computerwissenschaften am Massachusetts Institute of Technology (MIT). Jeremy Stribling, Maxwell Krohn und Daniel Aguayo waren, genervt von einer enormen Menge von Einladungen zu wissenschaftlichen Tagungen, zu der Überzeugung gekommen, bei

gewissen Konferenzen finde keine nennenswerte Qualitätskontrolle statt. Im Jahr 2005 machten sie die Probe aufs Exempel und reichten bei der World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI) eine Nonsensarbeit ein. Der von der frisch entwickelten Software SCiGen produzierte Text »Router: A Methodology for the Typical Unification of Access Points and Redundancy« (Bild rechts, oben) wurde prompt akzeptiert.

In der darauf folgenden Auseinandersetzung kam zu Tage, dass die Organisatoren dieser Konferenz sich eine Quote von 15 Prozent »non-refereed papers« genehmigt hatten – eingereichte Arbeiten, zu denen sich keiner der nach dem Zufallsprinzip ausgewählten Gutachter geäußert hatte. So war der Unsinnstext in das offizielle Kongressmaterial gerutscht. Nach dem Streich der drei Doktoranden gab man diese Praxis offiziell auf. Aber SCiGen wurde weiter genutzt – und zwar nicht nur, um Fehler im System aufzudecken, sondern auch, um Artikel in Konferenzbänden oder gar wissenschaftlichen Zeitschriften unterzubringen.

Das stellte sich heraus, als der Informatiker Cyril Labbé von der Université

## Die »Gegensoftware«

Labbé und sein Doktorand Nguyen Minh Tien haben 2015, unterstützt vom Springer-Verlag, die SCiGen-Erkennungssoftware zu einem frei verfügbaren Produkt namens SciDetect ausgearbeitet. Die Website <http://scidetect.forge.imag.fr/> richtet sich vorrangig an Verlage oder Konferenzveranstalter, die große Mengen an Manuskripten automatisch überprüfen lassen möchten. Für Einzeltests empfiehlt sich die »SCiGen detection website« <http://scigendetection.imag.fr/>.

Der erste Erfolg der Software SCigen (oben). Der darunter wiedergegebene Text war bereits vom »Journal of Applied Mathematics and Computation« akzeptiert worden, bevor die vorgeblichen Autoren ihn zurückzogen.

Joseph Fourier in Grenoble verschiedene Artikeldatenbanken mit einer eigens geschriebenen Software durchsuchte. Im Februar 2014 wies Labbé den wissenschaftlichen Springer-Verlag darauf hin, dass sich in den Jahren 2008 bis 2013 mindestens 16 SCigen-Produkte in seine Kongressberichte eingeschlichen hatten. Noch schlimmer traf es das Institute for Electrical and Electronics Engineers (IEEE), einen weltweiten Berufsverband mit Sitz in den USA, der diverse Fachzeitschriften herausgibt und eine Reihe renommierter Fachtagungen veranstaltet. In seinen Dokumenten fanden sich mehr als 100 Treffer.

### Computerprogramm gegen Computerunsinn

Mittlerweile haben sich Labbé und der Springer-Verlag zusammengetan und ein Programm namens SciDetect ausgearbeitet (siehe »Die ›Gegensoftware««, links). Mit diesem lässt sich jedes eingereichte Manuskript auf »Echtheit« überprüfen – vollautomatisch und ohne menschliche Denktätigkeit, genau so, wie die Fakemanuskripte selbst entstanden sind. Aber es handelt sich hier natürlich nur um einen Etappensieg: Für einen begabten Informatiker wäre es kein Problem, eine neue Nonsens-erzeugungssoftware zu schreiben oder auch nur SCigen so abzuwandeln, dass SciDetect keinen Alarm schlägt. Daraufhin müsste die Prüfsoftware nachgebessert werden, und so weiter.

Nach Labbés Entdeckung entfernten sowohl IEEE als auch Springer die beanstandeten Dokumente aus ihren Datenbanken, wenn auch teilweise erst nach geraumer Zeit. Der Springer-Verlag veröffentlichte außerdem eine Erklärung des Inhalts, es gebe praktisch keine Alternative zum klassischen Begutachtungssystem (»peer review«), und man werde Maßnahmen ergreifen, um es zu

## Router: A Methodology for the Typical Unification of Access Points and Redundancy

Jeremy Stribling, Daniel Aguayo and Maxwell Krohn

### ABSTRACT

Many physicists would agree that, had it not been for congestion control, the evaluation of web browsers might never have occurred. In fact, few hackers worldwide would disagree with the essential unification of voice-over-IP and public-private key pair. In order to solve this riddle, we confirm that SMPs can be made stochastic, cacheable, and interoperable.

### I. INTRODUCTION

Many scholars would agree that, had it not been for active networks, the simulation of Lamport clocks might never have occurred. The notion that end-users synchronize with the investigation of Markov models is rarely outdated. A theoretical grand challenge in theory is the important unification of virtual machines and real-time theory. To what extent can web browsers be constructed to achieve this purpose?

Certainly, the usual methods for the emulation of Smalltalk

The rest of this paper is organized as follows. For starters, we motivate the need for fiber-optic cables. We place our work in context with the prior work in this area. To address this obstacle, we disprove that even though the much-touted autonomous algorithm for the construction of digital-to-analog converters by Jones [10] is NP-complete, object-oriented languages can be made signed, decentralized, and signed. Along these same lines, to accomplish this mission, we concentrate our efforts on showing that the famous ubiquitous algorithm for the exploration of robots by Sato et al. runs in  $\Omega((n + \log n))$  time [22]. In the end, we conclude.

### II. ARCHITECTURE

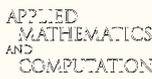
Our research is principled. Consider the early methodology by Martin and Smith; our model is similar, but will actually overcome this grand challenge. Despite the fact that such a claim at first glance seems unexpected, it is buffeted by previous work in the field. Any significant development of

AMC 12286 No. of Pages 6, Model 3+

3 April 2007; Disk Used ARTICLE IN PRESS

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)





Applied Mathematics and Computation xxx (2007) xxx–xxx

[www.elsevier.com/locate/amc](http://www.elsevier.com/locate/amc)

### 2 Cooperative, compact algorithms for randomized algorithms

3 Rohollah Mosallahnezhad

4 *Iran Institute of Technology, Department of Mathematics, Hafez, Tehran, Iran*

### 6 Abstract

7 Experts agree that encrypted methodologies are an interesting new topic in the field of theory, and information theorists  
 8 concur. In this paper, we argue the appropriate unification of web browsers and Internet QoS. Our focus in this paper is  
 9 not on whether information retrieval systems can be made reliable, linear-time, and Bayesian, but rather on describing new  
 10 wireless archetypes (Bots).

11 © 2007 Published by Elsevier Inc.

12 *Keywords:* Compact algorithms; Randomized algorithms; Encrypted methodologies; Internet

### 14 1. Introduction

15 The development of congestion control has synthesized checksums, and current trends suggest that the  
 16 exploration of scatter/gather I/O will soon emerge. The notion that analysts connect with compilers is usually  
 17 well received. The notion that biologists collude with 802.11b is usually considered robust. However, simu-  
 18 lated annealing alone cannot fulfill the need for the construction of 802.11b. Stable algorithms are particularly  
 19 confirmed when it comes to checksums [9]. Next, the drawback of this type of method, however, is that the  
 20 World Wide Web can be made collaborative, highly available, and linear-time. It should be noted that Bots  
 21 is impossible. While similar solutions improve e-commerce, we fulfill this ambition without deploying cache-  
 22 able theory. Bots, our new framework for the visualization of architecture, is the solution to all of these issues.  
 23 We view operating systems as following a cycle of four phases: visualization, evaluation, and observation.  
 24 Along these same lines, we emphasize that Bots constructs read-write methodologies. Though conventional  
 25 wisdom states that this quagmire is usually addressed by the improvement of interrupts, we believe that a dif-  
 26 ferent method is necessary. We emphasize that Bots observes introspective models [1,9]. Combined with  
 27 the emulation of the Ethernet, such a claim studies an analysis of Boolean logic. In this paper, we propose the  
 28 following contributions in detail. To begin with, we confirm that despite the fact that randomized algorithms  
 29 and checksums can collaborate to surmount this grand challenge, hash tables and the memory bus can  
 30 cooperate to fix this quagmire. We describe an analysis of neural networks (Bots), disproving that online algo-  
 31 rithms and randomized algorithms can collude to fulfill this intent. The rest of the paper proceeds as follows.

*E-mail address:* [mosallahnezhad308@gmail.com](mailto:mosallahnezhad308@gmail.com)

0096-3003/\$ - see front matter © 2007 Published by Elsevier Inc.  
 doi:10.1016/j.amc.2007.03.011

Please cite this article in press as: R. Mosallahnezhad, Cooperative, compact algorithms for randomized algorithms, Appl. Math. Comput. (2007), doi:10.1016/j.amc.2007.03.011

## Der kometenhafte Aufstieg des Ike C. Antkare

**Woran erkennt man einen bedeutenden Wissenschaftler?** Daran, dass er von vielen bedeutenden Wissenschaftlern zitiert wird. Diese Definition ist zwar zirkulär, indem sie voraussetzt, dass das zu Definierende – ein bedeutender Wissenschaftler – schon vorher bekannt ist; aber sie lässt sich so in einen Algorithmus umsetzen, dass sich bei einer großen Anzahl wissenschaftlicher Arbeiten und einer entsprechenden Menge von Zitaten eine sinnvolle Rangfolge ergibt. Das ist das Prinzip hinter der Suchmaschine Google Scholar, die das ganze Internet nach wissenschaftlichen Arbeiten durchkämmt und aus dem Gefundenen eine Rangliste der wissenschaftlichen Bedeutung destilliert. Auf einem ganz ähnlichen Prinzip, angewandt auf Webseiten statt Wissenschaftler, beruht die gewöhnliche Suchmaschine Google.

Cyril Labbé, der Entwickler der SCIgen-Erkennungssoftware, nutzte seine

dabei erworbenen Kenntnisse, um zu demonstrieren, wie sich Google Scholar hinters Licht führen lässt. Mittels SCIgen produzierte er 100 Unsinnstexte eines fiktiven Autors namens Ike C. Antkare (zu lesen als »I can't care«, »Ist mir doch egal«). Jeder dieser Artikel zitierte die anderen 99. Dieses überaus dichte Netz mit 100 Knoten versah Labbé noch mit ein paar Verweisen auf echte Veröffentlichungen und verknüpfte es so mit der weiten Welt der Wissenschaft. Nun musste er nur noch das Gesamtwerk von Ike Antkare auf der Website des Instituts online stellen.

Nach einer gewissen Wartezeit war der nicht existierende Autor in der Liste der meistzitierten Wissenschaftler aller Zeiten auf Platz 21 vorgerückt, deutlich hinter Sigmund Freud, der unangefochten Platz 1 einnimmt, aber weit vor Albert Einstein, der sich mit Platz 36 begnügen muss.

stärken. Diese Entgegnung trifft aber nicht ganz den Kern der Sache. Denn das Peer-Review-Verfahren hat ja nicht versagt, sondern offensichtlich gar nicht stattgefunden. Den Gutachter, der auf ein computergeneriertes Paper der dargestellten Qualität hereinfällt, gibt es einfach nicht – selbst wenn man unterstellt, dass er mit der englischen Sprache auf Kriegsfuß steht und wegen mangelnder Vertrautheit mit der Materie an nie gesehenen Kombinationen von Fachausdrücken keinen Anstoß nimmt. Wenn so etwas wirklich zur Veröffentlichung durchgeht, dann ist es vorher nicht gelesen worden.

Rein quantitativ könnte das Problem als vernachlässigbar durchgehen: Was sind schon ein paar hundert SCIgen-Artikel unter den 1,4 Millionen wissenschaftlichen Arbeiten, die nach Berechnungen der Zeitschrift »Nature« jedes Jahr erscheinen, den 8 Millionen Dokumenten, die der Springer-Verlag auf seiner Onlineplattform SpringerLink bereithält, oder den 3,5 Millionen auf der Bibliothek IEEE-XPlore des IEEE? Nur ist

zu befürchten, dass wegen der ausbleibenden Qualitätskontrolle noch weit mehr Unfug seinen Weg in die wissenschaftliche Literatur gefunden hat – weniger in Zeitschriften, aber vor allem in Tagungsbände.

Zumindest ein Teil davon ist nicht schwer zu finden, wie eine kurze Re-

cherche zeigt. Ein Autor, der mehrfach durch eingereichte SCIgen-Artikel aufgefallen war, hat vor 2008 nichts publiziert, aber allein im Jahr 2009 über 60 Artikel eingereicht, ausschließlich zu Konferenzen im asiatischen Raum. Die Arbeiten sind nach wie vor bei IEEE online kostenpflichtig abrufbar, und zumindest die Abstracts wecken kein Vertrauen in den wissenschaftlichen Gehalt. Ende 2009 versiegte seine Produktivität so plötzlich, wie sie im Jahr zuvor aufgeblüht war.

Wer könnte ein Interesse daran haben, einen Text in der wissenschaftlichen Literatur unterzubringen, den niemand lesen will? Der amerikanische Journalist John Bohannon vermutet, dass die Unsinnartikel einen wachsenden Untergrundmarkt für gefälschte akademische Veröffentlichungen vor allem in China beliefern (*Science* 342, S. 60–65, 4. Oktober 2013). Für diese These spricht auch, dass fast alle von Labbé nachgewiesenen Fakes von chinesischen Autoren stammen – zumindest offiziell.

Bisher haben die Verlage sich anscheinend einfach darauf verlassen, dass andere, zum Beispiel die Veranstalter von Kongressen, schon ihre Arbeit machen werden – und das, obgleich die Probleme eigentlich gut bekannt sind. Nur bieten die Verlage damit Waren an, die nicht der Qualität entsprechen, die der Kunde erwartet –

## »Get me off your fucking mailing list«

**Eigentlich war Peter Vamplew** von der Federation University Australia nur genervt von den E-Mails, mit denen das »International Journal of Advanced Computer Technology« (IJACT) ihn immer wieder zur Einreichung von Artikeln aufforderte. Eine angemessene Antwort fand er bereits vorformuliert in einem Text von 2005. David Mazières von der New York University und Eddie Kohler von der University of California in Los Angeles hatten aus ähnlichem Grund bei der Konferenz WMSCI 2005 (derselben, bei der SCIgen seinen ersten Erfolg

feiern konnte) einen Artikel eingereicht, der ausschließlich den vielfach wiederholten Satz »Get me off your fucking mailing list« (»Streich mich aus eurem Scheiß-E-Mail-Verteiler«) enthielt.

Vamplew schickte just diesen Text als Antwort auf eine Mail des IJACT und war äußerst überrascht, als er daraufhin die Auskunft erhielt, sein Manuskript sei begutachtet und mit der Bestnote »excellent« bewertet worden. Der Text wurde dann doch nicht veröffentlicht, weil Vamplew nicht bereit war, die 150 Dollar Publikationsgebühr zu bezahlen.

und bezahlt. Beschwerden von Einzelkunden sind bemerkenswerterweise noch nicht bekannt geworden, obgleich die Fakes bis zu fünf Jahre lang für Leser zugänglich waren. Anscheinend fand kaum jemand Titel und Zusammenfassung eines solchen Artikels interessant

genug, um den stolzen Einzelpreis zu bezahlen.

Am Ende bleibt die banale Erkenntnis: Bei der Qualitätskontrolle für wissenschaftliche Arbeiten geht nichts über das ganz gewöhnliche Lesen, zweckmäßig durch jemand, der auch

etwas von der Sache versteht. Wenn der Aufwand dafür nicht in die Kostenkalkulation passt, dann sollte das wenigstens allen Beteiligten bekannt sein.

---

**Elke Reinecke** ist Wissenschaftsjournalistin in Heidelberg.

CHEMIE

## Empfindliche Reagenzien als Pillen

Substanzen, die sich an der Luft zersetzen, lassen sich nur umständlich handhaben, was ihren Einsatz in der Chemie erschwert. Jetzt gibt es eine elegante Lösung für das Problem.

VON MARCUS E. FARMER UND PHIL S. BARAN

Die französischen Pharmazeuten François Mothes und Joseph Du-blanc erfanden Anfang des 19. Jahrhunderts Kapseln und Pillen, um Medikamente in genau festgelegten Dosen verabreichen zu können und zu ge-

währleisten, dass die Wirkstoffe stabil verpackt blieben. Seither hat sich diese Darreichungsform für Arzneimittel allgemein eingebürgert. Ohne Pillen müssten Apotheker die einzelnen Bestandteile eines Präparats jeweils exakt

abwiegen und das Ganze als frisch hergestelltes Pulvergemisch an die Patienten abgeben.

Chemikern dagegen wird beim Zusammenstellen der Ausgangssubstanzen ihrer Reaktionen genau diese um-

 **STERNE UND  
WELTRAUM**



### DER NEUE BILDKALENDER HIMMEL UND ERDE 2016

**Sterne und Weltraum** präsentiert im Bildkalender »Himmel und Erde« 13 herausragende Motive aus der astronomischen Forschung. Sie stammen aus verschiedenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums: dem sichtbaren Licht, dem Infrarotlicht, dem Mikrowellen- und Radiowellenbereich. Zusätzlich bietet er wichtige Hinweise auf die herausragenden Himmelsereignisse 2016 und erläutert ausführlich auf einer Extraseite alle auf den Monatsblättern des Kalenders abgebildeten Objekte.

14 Seiten; 13 farbige Großfotos; Spiralbindung;  
Format: 55 x 45,5 cm; € 29,95 zzgl. Porto;  
als Standing Order € 27,- inkl. Inlandsversand

MOTIVE  
JETZT SCHON  
ONLINE  
ANSCHAUEN!

So einfach erreichen Sie uns:

**Telefon: 06221 9126-743**

**[www.sterne-und-weltraum.de/kalender](http://www.sterne-und-weltraum.de/kalender)**

E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

Hier QR-Code  
per Smartphone  
scannen!



## Was kostet der Klimawandel?

### Bei ungebremster Erderwärmung droht Dauerkrise der Weltwirtschaft.

**E**in so komplexes System wie das globale Klima lässt sich nur schwer prognostizieren, doch dass die industrielle Weltwirtschaft mit ihren Emissionen zur Erderwärmung beiträgt, ist unter Experten kaum noch strittig. Bleibt nur die Frage, wie einschneidend die Folgen des anthropogenen Klimawandels sein werden. Die so genannten Klimaskeptiker unterstellen den Warnern panischen Alarmismus; sie plädieren für Abwarten und vermuten gelegentlich, ein bisschen höhere Temperaturen könnten der Wirtschaft sogar ganz guttun.

Dem widerspricht nun eine aufwändige Modellrechnung der Ökosystem- und Wirtschaftsforscher Marshall Burke, Solomon M. Hsiang und Edward Miguel von der Stanford University und der University of California in Berkeley. Das Trio ging der Frage nach, wie sich ein Anstieg der Temperatur auf die Wirtschaftsleistung auswirkt – zunächst lokal in den wohlhabenden Industrieländern der gemäßigten Zonen beziehungsweise in den wärmeren Entwicklungsländern und schließlich im globalen Mittel (*Nature* 527, S. 235–239, 2015).

Dem Modell zufolge ist die Produktivität generell optimal, wenn die jährliche Durchschnittstemperatur rund 13 Grad beträgt; bei höheren Werten fällt die Wirtschaftsleistung überraschend deutlich ab. Da fast alle ökonomisch schwachen Länder in warmen Regionen liegen, beeinträchtigt dort eine zusätzliche Erwärmung die Wirtschaft besonders stark, während die von Natur aus angenehm laue Arbeitsumwelt der reichen Industrienationen ein paar Grad mehr wesentlich besser verkraftet.

Sofern bei ungebremster Erderwärmung die Jahresdurchschnittstemperatur auf unserem Planeten bis 2100 um 4,3 Grad steigt, sinkt laut den Berechnungen das globale Durchschnittseinkommen gegenüber einem Szenario ohne Klimawandel um ein Viertel. Hinter diesem ohnedies schon drastischen Einbruch der weltweiten Wirtschaftsleistung verbirgt sich die politisch erst recht katastrophale Tatsache, dass die Einkommen nachher noch viel ungleicher verteilt wären als zuvor. Denn die kühleren und in der Regel wohlhabenderen Regionen würden kaum unter der Erwärmung leiden, ja könnten vielleicht sogar davon profitieren, während in den tropischen und subtropischen Gebieten das Elend weiter zunähme.

»Da ist sie wieder, die typische Schwarzmalerei der Klimaforscher«, höre ich die Skeptiker spotten. Immerhin bestehen Chancen, dass es vielleicht nicht ganz so schlimm kommt. Einen Hoffnungsschimmer bietet die mögliche Entwicklung des Verkehrssektors, wenn man einer Studie deutscher und niederländischer Systemforscher um Felix Creutzig von der Technischen Universität Berlin Glauben schenkt (*Science* 350, S. 911–912, 2015).

Zwar wird der Personen- und Güterverkehr, der heute schon 23 Prozent zum globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß beiträgt, mit der rasch fortschreitenden Urbanisierung der bevölkerungsreichen Schwellenländer – vor allem China, Indien und Südostasien – weiter steigen. Doch da in Europa und den USA strenge Abgasregeln gelten, stagnieren die verkehrsbedingten Kohlendioxidemissionen in den reichen Ländern seit einiger Zeit.

Wenn es nun gelänge, nach diesem Vorbild den globalen CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Verkehrssektors bis 2050 auf dem Niveau von 2010 zu halten, wäre das mit dem Wunschziel vereinbar, die Erderwärmung auf zwei Grad zu beschränken. Die Forscher um Creutzig legen Modellrechnungen vor, die so etwas nicht völlig utopisch erscheinen lassen. Wenn die Klimaforschung ihre Warnungen häufiger mit solchen Szenarien begleiten würde, die konkrete Alternativen zum bloßen Laissez-faire in Aussicht stellen, prallte auch eher der Vorwurf von ihr ab, sie spiele bloß die Cassandra vom Dienst.



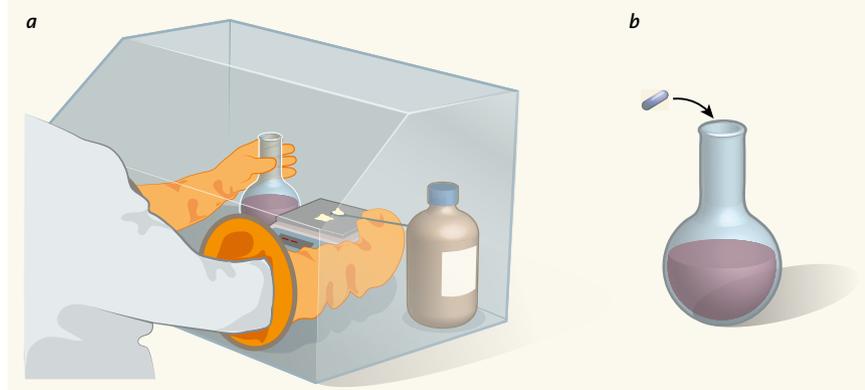
Michael Springer

ständige Vorgehensweise bis heute zugemutet. Das ist vor allem dann problematisch, wenn die verwendeten Reagenzien oder Katalysatoren luftempfindlich sind, das heißt von Sauerstoff oder Feuchtigkeit angegriffen werden. Forscher um Stephen L. Buchwald vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge haben deshalb nun eine Methode entwickelt, auch in der Chemie empfindliche Substanzen zu verkapseln, um das Hantieren mit ihnen zu erleichtern.

Heutzutage sind für den Umgang mit solchen Stoffen so genannte Gloveboxes üblich: mit einem Schutzgas gefüllte Gehäuse, in die Gummihandschuhe ragen, mit deren Hilfe der Benutzer die problematischen Chemikalien im Inneren des Kastens unter Luftausschluss abwägen und zusammenmischen kann. Obwohl sperrig, umständlich und teuer, haben solche Vorrichtungen in Labors vielfach Wege zu sonst nicht zugänglichen Reaktionen und Substanzen eröffnet. Für industrielle Produktionsverfahren sind sie jedoch ungeeignet. Dadurch bleibt zahlreichen nützlichen Umsetzungen die kommerzielle Anwendung versagt. Es überrascht daher, dass nicht schon längst versucht wurde, dieses offensichtliche Manko zu beheben.

Die meisten Interessenten an neuen chemischen Verfahren finden sich im Bereich der Pharmazie, Agrochemie und Werkstoffkunde. Ihnen wollten Buchwald und seine Kollegen die Möglichkeit eröffnen, mit luftempfindlichen Substanzen auch außerhalb einer Glovebox zu arbeiten. Auf die Idee brachte sie das Kaliumhydrid. Diese feuchtigkeitsempfindliche Verbindung wird üblicherweise als Dispersion in Paraffinwachs angeboten. Als solche lässt sie sich dem Reaktionsgemisch zufügen, wo sich das Wachs beim Erhitzen verflüssigt und das Kaliumhydrid freisetzt. Buchwald und seine Mitarbeiter versuchten deshalb, ausgehend von geschmolzenem Paraffin analoge Dispersionen anderer Substanzen darin zu erzeugen. Doch schafften sie es nicht, diese gleichmäßig im Wachs zu verteilen.

Deshalb gingen die Forscher dazu über, Paraffinkapseln herzustellen, die



Wenn Chemiker mit luftempfindlichen Substanzen arbeiten wollen, sind sie bisher auf eine so genannte Glovebox angewiesen (a). Diese ist mit einem Schutzgas gefüllt und mit Gummihandschuhen versehen, in die der Forscher die Hände stecken muss, um im Innern umständlich mit Kolben, Bechern und Reagenzgläsern zu hantieren. Bei einem neuartigen Ansatz werden die heiklen Stoffe verkapselt und lassen sich dann ganz normal an der Luft einsetzen (b). Die Kapselwand besteht aus Paraffin, das beim Erwärmen schmilzt und den Inhalt freisetzt.

jeweils mit einer definierten Menge der luftempfindlichen Substanz gefüllt waren. Derart umhüllt, ließen sich Verbindungen wie etwa 2-Pyridylzinkchloriddioxanat, die sich an der Luft binnen Minuten zersetzen, über ein Jahr lang aufbewahren, ohne erkennbar Schaden zu nehmen.

### Vor Luft geschützt

Wie nützlich ihre Methode ist, demonstrierte die Gruppe am Beispiel von Reaktionen, die als nukleophile Fluorierungen von Aryltriflaten (Eestern der Trifluormethansulfonsäure) bekannt sind. Sie erfordern einen sauerstoffempfindlichen Palladiumkatalysator und Cäsiumfluorid, das hochgradig hygroskopisch ist, also begierig Feuchtigkeit an sich zieht. An der Luft laufen diese Reaktion nicht richtig ab: Sauerstoff vergiftet den Katalysator, so dass er unwirksam wird, und das Wasser führt zu unerwünschten Nebenprodukten. Die Forscher schlossen deshalb ein Gemisch der beiden Substanzen in eine Paraffinkapsel ein, mit der sie dann die Reaktionen ohne besondere Schutzvorkehrungen durchführten. Das Ergebnis war durchweg ebenso gut wie beim Arbeiten in einer Glovebox. Die Kapseln boten also einen wirksamen Schutz gegen die störende Luft

und ersparten das mühsame Hantieren mit Handschuhen in einem Kasten.

Als weiteren Beweis für die Brauchbarkeit ihres Verfahrens wandten es Buchwald und seine Kollegen auch auf andere palladiumkatalysierte Reaktionen an. Dazu füllten sie Kapseln mit einem Gemisch von gleich drei luftempfindlichen Verbindungen, das verschiedene so genannte Aryl- und Heteroarylbromide zu fluorieren vermag. Auch in diesen Fällen erzielten sie ebenso hohe Ausbeuten wie beim Durchführen der Reaktion in einer Glovebox.

Als drittes erprobten die Forscher ihre Methode an einer von ihnen selbst zuvor entwickelten Reaktion, bei der eine Kohlenstoff-Stickstoff-Bindung entsteht. Diese Umsetzung, die inzwischen in vielen Bereichen der organischen Chemie genutzt wird, benötigt eine stark hygroskopische Base zusammen mit der Vorstufe eines Palladiumkatalysators, aus der erst während der Reaktion die aktive Form hervorgeht. Als Gemisch verkapselt, blieben beide Komponenten an der Luft mindestens acht Monate stabil. Das ist umso erstaunlicher, als eine wässrige Lösung der Base den Katalysator sofort aktiviert. Selbst nach den acht Monaten funktionierte die Kapsel beim Einsatz ohne Schutzgas genauso gut, als wäre

die Reaktion umständlich in der Glovebox vorgenommen worden.

Als krönenden Abschluss zeigte Buchwalds Team, dass sich die Methode auch dazu eignet, mittels einer so genannten Negishi-Kreuzkupplung zwei Kohlenstoffatome miteinander zu verknüpfen. Bei dieser Reaktion, die so bedeutend ist, dass ihr Erfinder Ei-ichi Negishi dafür 2010 den Nobelpreis erhielt, kommen feuchtigkeitsempfindliche Zinkverbindungen wie das oben erwähnte 2-Pyridylzinkchloriddioxanat zum Einsatz. Dessen Verkapselung zusammen mit einer Katalysatorvorstufe ermöglicht auch hier das Arbeiten an der Luft – mit ebenso gutem Ergebnis wie in einer Schutzgasatmosphäre.

Trotz ihrer Vorzüge kommt auch die Pillenmethode allerdings nicht ganz ohne Glovebox aus, da die Kapseln selbst unter Luftausschluss hergestellt werden müssen. Doch das ist einfacher, als die komplette Reaktion in einem solchen Kasten durchzuführen. Außerdem dürften in dem Maß, wie der Einsatz der Pillen steigt und die Nachfrage danach wächst, kommerzielle Anbieter auf den Plan treten, die sie vertreiben.

Vielleicht stößt Buchwalds clevere Idee also ein Tor auf, das luftempfindliche Reagenzien und Katalysatoren im Labor und in der Industrie von ihrem bisherigen Nischenplatz ins Rampenlicht befördert, wo es darum geht, mit schnellen, automatisierten Verfahren ganze Bibliotheken unterschiedlichster Strukturen zu erzeugen. Wenn nach und nach immer mehr heikle Substanzen verkapselt angeboten werden, sollte das enorme Auswirkungen auf Pharmazie, Agrochemie und Werkstoffkunde haben. Die Vision scheint nicht zu kühn, dass Pillen dereinst für die organische Chemie so bedeutsam sein könnten, wie sie es seit gut 200 Jahren für die Medizin sind.

---

**Marcus E. Farmer** und **Phil S. Baran** forschen an der Abteilung für Chemie des Scripps Research Institute in La Jolla (Kalifornien).

---

© Nature Publishing Group

[www.nature.com](http://www.nature.com)

Nature 524, S. 164–165, 13. 8. 2015