

HINTERGRUND

Radikale Raserei

Die Zerstörung des historischen Erbes der Menschheit hat durch den Terror der Miliz »Islamischer Staat« eine neue Dimension erreicht.

VON HAKAN BAYKAL

Möglicherweise steht Nimrud noch. Anfang März hatte die irakische Antikenverwaltung gemeldet, Kämpfer des so genannten Islamischen Staats (IS) hätten die vor 3200 Jahren gegründete Hauptstadt des Assyrischen Reichs mit schweren Militärfahrzeugen, Bulldozern und Sprengstoff dem Erdboden gleichgemacht. Auch den Ruinen von Hatra, im 1. und 2. Jahrhundert n. Chr. eine bedeutende Grenzstadt zwischen dem Imperium Romanum und dem Partherreich, stünde wohl dieses Schicksal bevor. Weltweit war das Entsetzen groß. Irina Bokowa, Generaldirektorin der UNESCO, sprach von »kultureller Säuberung« und »Kriegsverbrechen«.

Auch wenn es keinen Anlass zur Entwarnung gibt, hat sich die Aufregung wieder etwas gelegt. Noch nicht veröffentlichte Satellitenbilder zeigten Ende März anscheinend, dass die genannten Stätten weit gehend unversehrt sind. May Shaer vom UNESCO-Büro für den Irak, das in der jordanischen Hauptstadt Amman eingerichtet ist, erklärte, man habe noch keine verlässlichen

Informationen über das Ausmaß der Schäden, wolle sie aber schnellstmöglich beschaffen. Ein schwieriges Unterfangen, da beide Städte im Machtbereich des IS liegen. »Selbst die irakische Antikenverwaltung hat die Kontakte zu den Ausgrabungsstätten verloren«, bedauert die Archäologin Margarete van Ess, seit 1996 Leiterin der Außenstelle Bagdad des Deutschen Archäologischen Instituts (DAI).

Der Zustand von Nimrud und Hatra ist aber letztlich bloß ein Detail in der seit zwei Jahrzehnten anhaltenden Vernichtung von Kulturschätzen des Alten Orients. Einen ersten Höhepunkt bildeten die Beutezüge durch irakische Museen während und unmittelbar nach der US-Invasion zum Sturz Saddam Husseins im Jahr 2003, als beispielsweise das Bagdader Nationalmuseum von offensichtlich gut organisierten Plünderern leer geräumt wurde. Seitdem pflügen Raubgräber archäologische Stätten im ganzen Land um.

Mit den militärischen Erfolgen und Gebietsgewinnen des Islamischen Staats im vergangenen Jahr erreichte die Be-

drohung antiker Kunstschätze in Irak, Syrien und neuerdings auch Libyen allerdings eine ganz andere Dimension. Der Altorientalist Markus Hilgert, Direktor des Vorderasiatischen Museums der Staatlichen Museen zu Berlin, glaubt hunderttausende Objekte für verloren. Allein im ersten Quartal dieses Jahres verbrannten IS-Eiferer tausende Manuskripte der Bibliothek von Mossul.

Zerstörte Wächter

Die Welt hielt den Atem an, als ein Propagandavideo die Verwüstung des dortigen Museums vor Augen führte. Zwar steht inzwischen fest: Etliche der angeblich zerstörten Ausstellungsstücke waren Repliken. Laut dem Irakischen Nationalmuseum in Bagdad befanden sich aber 173 Originalobjekte in Mossul. Wie viele davon noch vorhanden und unversehrt sind, weiß niemand zu sagen. Mit der traurigen Ausnahme: Zwei fast 3000 Jahre alte Türhüterfiguren, die einst die Tore der antiken Stadt Ninive schmückten, fielen den Fanatikern auf jeden Fall zum Opfer.

Von der Öffentlichkeit im Westen weit gehend unbeachtet sprengen und planieren die IS-Milizen seit Monaten zudem jahrhundertalte Schreine und Moscheen sowohl der Schiiten wie der Sunniten. »Darauf haben wir kaum reagiert«, warnt van Ess. Das könne leicht den Eindruck vermitteln, der Westen engagiere sich lediglich für Zeugnisse des Altertums, nicht jedoch für die Bewahrung islamischer Kunstschätze.

Dschihadisten kommt dieses einseitige Interesse der Europäer und US-Amerikaner durchaus entgegen. Es ist schon länger bekannt, dass sich verschiedene Milizen auch durch Raubgrabungen finanzieren. Freilich ist nicht jedes antike Stück für den Handel geeignet, weshalb die Zerstörungssorge





Was antike Kulturen einst schufen, gilt Terroristen des »Islamischen Staats« als Gotteslästerung und muss zerstört werden. Dies jedenfalls verbreitete der IS mit seinem Propagandavideo aus dem Museum in Mossul. Die Realität ist vermutlich weit banaler.

von Mossul in keinem Widerspruch zur Geldbeschaffung steht. »Stücke aus Nimrud oder Hatra sind in Fachkreisen so bekannt, dass sie fast unverkäuflich wären«, sagt van Ess. Und selbst wenn ein Sammler eins erwerben würde, könne er es kaum öffentlich präsentieren.

In dem von ihm kontrollierten Gebiet hat der IS inzwischen mafiöse Strukturen für den illegalen Handel von Antiken aufgebaut. »Soweit wir wissen, vergibt er Claims zum Quadratmeterpreis an Raubgräber und kassiert zusätzlich eine 20-prozentige Steuer auf jedes gefundene Objekt«, berichtet der Archäologe Michael Müller-Karpe, der seit Jahren gegen den illegalen Kunst- und Antikenhandel eintritt. Was nicht passe, würde passend gemacht. »Reliefs werden zum Transport auf Samsonite-Größe zurechtgeschlagen.« Vielen Kunstliebhabern sei gar nicht klar, worauf sie sich mit dem Kauf von

Objekten zweifelhafter Herkunft einließen: »Überspitzt gesagt töten IS-Kämpfer westliche Geiseln mit Waffen, die private und gewerbliche Sammler finanziert haben.«

Unterdessen sind die Zolllager in der Türkei und dem Libanon voller abgefangener Objekte – die beiden Länder dienen dem Transit. Allerdings dürften die Behörden nur einen Bruchteil entdeckt haben. Vor einigen Jahren schätzten UNESCO und FBI das Volumen des illegalen Antikenhandels auf bis zu acht Milliarden Dollar. Heute, so Müller-Karpe, müsse man von einem mehrstelligen Milliardenbetrag ausgehen.

Auch Deutschland ist in den letzten Jahren zu einer bevorzugten Drehscheibe für Raubkunst geworden – dank seiner Gesetzeslage: Nur solche Objekte sind vom legalen Handel ausgenommen, die in einer Liste verzeichnet sind. Frische Funde aus Raubgrabungen ge-

nießen hier zu Lande zwangsläufig keinen Schutz und lassen sich leicht als Objekte aus »Schweizer Privatsammlung« in den legalen Handel einschleusen. Sie müssen bloß noch angeblich vor 1980 erworben sein, denn nach 30 Jahren verjährt derzeit jeglicher Rückgabeanspruch eventueller Eigentümer.

Die Bundesregierung will 2016 ein neues Gesetz erlassen. Geht es nach den Wünschen vieler Archäologen, darf es nur den Handel mit solchen Antiken zulassen, die nachweislich weder aus illegalen Grabungen stammen noch rechtswidrig aus den Herkunftsländern geschmuggelt wurden. Derweil setzen syrische Mitarbeiter der Nichtregierungsorganisation Heritage for Peace vor Ort ihr Leben ein. Sie fotografieren geplünderte Ausgrabungsstätten und schicken die Bilder an Kollegen im Ausland. Sie schaufeln die Löcher wieder zu und verstecken die Zeugnisse der Vergangenheit für eine Zukunft, in der endlich wieder Frieden herrscht.

Hakan Baykal ist Wissenschaftsjournalist in Berlin.

Gold entfaltet die Kraft der dritten Stufe

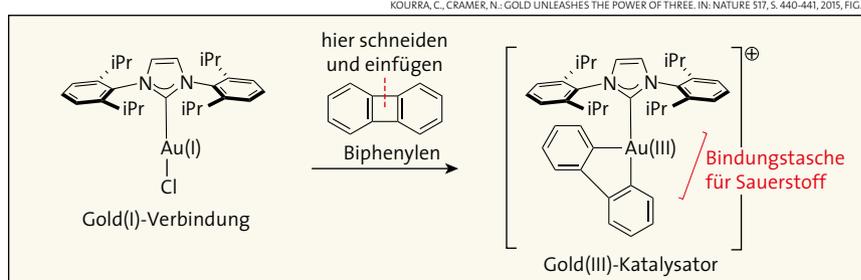
In der Oxidationsstufe +3 wird das Edelmetall bisher kaum als Katalysator genutzt, weil sich dieser Zustand nur schwer erzeugen und stabilisieren lässt. Chemiker fanden nun einen eleganten, schonenden Zugang zu dreiwertigem Gold und weckten sein schlummerndes Potenzial als Reaktionsbeschleuniger.

VON CHRISTOPHER M. B. K. KOURRA UND NICOLAI CRAMER

Zu den Hauptaufgaben organischer Chemiker gehört es, kompliziert aufgebaute Zielmoleküle für Arzneimittel, Agrochemikalien oder Werkstoffe selektiv und auf möglichst einfache, kostensparende Art und Weise herzustellen. Ein probates Mittel dazu ist die Katalyse, die oft ungewöhnliche und erstaunlich direkte Synthesewege eröffnet. Dabei kommen traditionell Übergangsmetalle in niedrigen Oxidationsstufen zum Einsatz. Die Katalyse mit solchen Metallen in hohen Oxidationsstufen fristet dagegen bisher ein Schattendasein.

Das zeigt sich auch beim Gold (Au). In der Oxidationsstufe +1 findet das Edelmetall vielfältig Verwendung als Reaktionsbeschleuniger. Die Oxidationsstufe +3 spielt dagegen fast keine Rolle. Das hat vor allem zwei Gründe. Erstens lassen sich hoch oxidierte Au(III)-Verbindungen, in denen das Metall formal als dreifach positiv geladenes Ion vorliegt, kaum unter den milden Bedingungen erzeugen, bei denen katalytische Reaktionen mit empfindlichen Substanzen gewöhnlich ablaufen. Und zweitens ist Gold in diesem Zustand auch seinerseits nicht sehr beständig. Das erfordert ein diffiziles Balancieren auf dem schmalen Grat zwischen katalytischer Aktivität und Stabilität. Entscheidend ist es deshalb, Moleküle oder Ionen zu finden, die als »Liganden« stabile Komplexe mit Au(III) bilden.

Dieses ehrgeizige Ziel setzten sich Chung-Yeh Wu und Kollegen an der University of California in Berkeley: ein schonendes Verfahren zu entwickeln, das einen hochwirksamen und zugleich beständigen Au(III)-Katalysator liefert. Zudem sollte es einfach sein und sich mühelos an die Erfordernisse der jewei-



Ein Au(I)-Komplex mit Gold in der Oxidationsstufe +1 reagiert unter milden Bedingungen mit Biphenylen zu einer katalytisch aktiven Au(III)-Verbindung, in der das Metall in der Oxidationsstufe +3 vorliegt. Dabei wird das Goldatom in den Viererring des Biphenyls eingefügt.

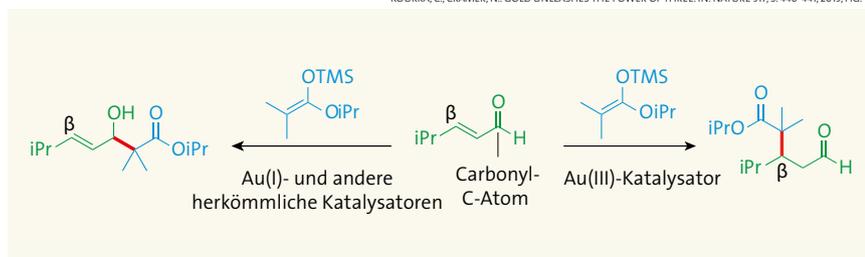
ligen Reaktion anpassen lassen. Ihre Grundidee war, einen existierenden Au(I)-Katalysator in eine Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung einzufügen – eine Methode, die oxidative Addition genannt wird. Das Verfahren kommt ohne die starken Oxidationsmittel aus, die gemeinhin zur Synthese von Au(III)-Verbindungen nötig sind und die Gefahr bergen, auch die Moleküle der zu katalysierenden Reaktion anzugreifen.

Die Spannung ausnutzen

Bei mehreren Übergangsmetallen gelingt eine oxidative Addition mit einer Verbindung namens Biphenylen. Diese enthält einen stark gespannten Ring aus vier Kohlenstoffatomen, der dabei aufgespalten wird. Wegen des Abbaus der Spannung läuft die Reaktion meist bereitwillig ab. Als Wu und seine Kollegen eine Au(I)-Verbindung mit Biphenylen zusammenbrachten, fügte sich auch das Goldatom problemlos in eine der beiden C–C-Einfachbindungen des Viererrings ein, wobei ein Au(III)-Komplex mit einem stabilisierenden Biphenylenliganden entstand (Bild oben). Die Umsetzung ließ sich unter erstaunlich

milden Bedingungen bei Zimmertemperatur durchführen. Das Reaktionsprodukt überführten die Forscher anschließend in einer einfachen Prozedur in eine Verbindung, aus der es sich bei Bedarf leicht zurückgewinnen lässt. In dieser Form ist die Au(III)-Verbindung einfach aufzubewahren und zu handhaben sowie unempfindlich gegen Sauerstoff und Feuchtigkeit.

Die nächste Frage lautete nun, ob die Substanz auch als Katalysator für bislang nicht durchführbare Umsetzungen taugt. Wie man weiß, lagern Au(III)-Ionen im Unterschied zu einwertigem Gold bevorzugt Sauerstoffatome an. Sie sollten demnach Reaktionen zwischen Molekülen fördern, die dieses Element enthalten. Wu und seine Kollegen vermuteten, dass die sperrigen Liganden des Au(III)-Komplexes die Sauerstoffatome potenzieller Reaktionspartner in eine passend geformte Bindungstasche bugsieren würden, in der sie an das Au(III)-Ion andocken könnten. Durch die abschirmende Wirkung des Biphenylens käme es so zu einer »regioselektiven« Katalyse, bei der von mehreren reaktionsbereiten Stellen in einem Mo-



Au(I)- und Au(III)-Verbindungen katalysieren beide die Anlagerung eines Trimethylsilylenoethers (blau) an ein $\alpha,\beta,\gamma,\delta$ -ungesättigtes Aldehyd (grün) – allerdings an unterschiedlichen Stellen, so dass verschiedene Produkte (Isomere) entstehen.

lekül nur eine bestimmte ausgewählt würde.

Ausgehend von dieser Überlegung testeten die Forscher ihren potenziellen Katalysator an sechs Typen von Reaktionen, bei denen sich Moleküle an die Doppelbindungen von so genannten α,β - und $\alpha,\beta,\gamma,\delta$ -ungesättigten Aldehyden anlagern. Dabei ergab sich durchweg eine andere Regioselektivität als mit Katalysatoren von Au(I) oder anderen Übergangsmetallen: Die Anlagerung erfolgte an der am weitesten von der Aldehydgruppe (CHO) entfernten Position statt an der nächstgelegenen, wie sonst üblich (Bild oben). Alle Reaktionen überzeugten mit hohen Ausbeuten – ein klarer Beleg für die breite Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit des Au(III)-Katalysators.

Ein besonders interessanter Aspekt dieser Arbeiten ist die Aussicht, beide Katalysatorarten auch kombiniert einsetzen und so einen größeren Bereich von Reaktionen abdecken zu können. Wu und seine Mitarbeiter veranschaulichten das, indem sie zunächst eine bekannte Umsetzung mit einer Au(I)-Verbindung katalysierten. Anschließend fügten sie einfach Biphenylen hinzu, wodurch sie den Au(I)- in einen Au(III)-Katalysator verwandelten, der jetzt eine weitere Reaktion ablaufen ließ.

Die Ergebnisse bedeuten einen großen Fortschritt beim Steuern regioselektiver Umsetzungen, und der neuartige, schonende Zugang zu Au(III)-Verbindungen bietet ungeahnte Chancen. Doch es bleibt noch viel zu tun. Die bisherigen Beispiele erfassen nur Reaktio-

nen einer einzigen Substanzklasse innerhalb der großen Familie der Moleküle, die eine Carbonylgruppe (C=O) enthalten. Künftig sollten auch andere Mitglieder dieser Familie untersucht werden. Zudem ist zu prüfen, ob sich der Katalysator ebenso für Reaktionen von Molekülen eignet, die Stickstoff- oder Schwefelatome enthalten. Nun, da die Tür zur A(III)-Katalyse weit aufgestoßen ist, gilt es, ihr volles Potenzial zu erkunden.

Christopher M. B. Kourra ist Doktorand und **Nicolai Cramer** Professor im Labor für asymmetrische Katalyse und Synthese der École polytechnique fédérale de Lausanne (Schweiz).

© Nature Publishing Group

www.nature.com

Nature 517, S. 440–441, 15. Januar 2015

KOGNITIONSFORSCHUNG

Vorausschauende Jäger

Die Bewegung eines Beutetiers vorwegzunehmen, galt bislang als exklusive Domäne räuberischer Wirbeltiere. Libellen bilden offenbar eine Ausnahme – was ihren Jagderfolg erklärt. Das Interesse der Neurowissenschaftler ist geweckt.

VON STACEY A. COMBES

Mit Sprüngen und Pirouetten tanzt eine Primaballerina über die Bühne. Damit ihr Ballettpartner im richtigen Augenblick zur Stelle ist, um sie zum Beispiel hoch in die Luft zu heben, muss er seinerseits im angemessenen Tempo auf sie zutanzten. Dieses Kunststück gelingt nur, wenn er weiß, wo sich beider Bewegungslinien schneiden werden. Dazu trifft sein Gehirn unbewusst beispielsweise Annahmen darü-

ber, in welchem Maß das visuelle Bild der Ballerina im Zuge der Annäherung größer wird. So erkennt der Tänzer auch ein Stocken ihrer Rotation oder einen zu kurz geratenen Sprung und kann seinen eigenen Kurs entsprechend korrigieren. Bislang konnte man diese Art komplexer Bewegungssteuerung, die Vorausberechnung und Reaktion umfasst, nur von Wirbeltieren. Eine Forschergruppe um Matteo Mischianti vom

Janelia Research Campus des Howard Hughes Medical Institute in Ashburn (Virginia) wies nun nach, dass Libellen auf der Jagd dazu ebenfalls fähig sind (*Nature* 517, S. 333–337, 2015).

Mit ihren großen Augen, die ein nahezu sphärisches Abbild der Umgebung liefern, lauern Libellen auf Blättern, bis Beute über ihnen auftaucht. Zum richtigen Zeitpunkt schnellen sie vor und ergreifen in weniger als einer



Neueren Experimenten zufolge können Libellen sowohl die Bewegungen des Beutetiers als auch ihre eigenen vorausberechnen und entsprechend reagieren. Nur in fünf Prozent der Fälle entkommt das Opfer.

halben Sekunde mit ihren Beinen das Opfer. In 95 Prozent aller Fälle geht diese Strategie auf. Dieses Vermögen wurde bislang einzig großer Sehschärfe und äußerst schnellen Reflexen zugeschrieben. Insbesondere seien die Sehneurone in der Lage, die Bewegung eines Zielobjekts blitzartig zu erkennen und die notwendige Reaktion der Flügel auszulösen.

Wäre dies schon das ganze Geheimnis, müsste man eine Eins-zu-eins-Beziehung zwischen den Manövern des Beutetiers und den Reaktionen der Libelle erwarten. Wie das Forscherteam nun zeigte, ist das jedoch nicht der Fall. Libellen reagieren zwar mitunter auf Ausweichmanöver des Opfers, viel häufiger aber korrelieren ihre Aktionen damit nicht.

Typischerweise nähern sie sich von unten, wohl um nicht entdeckt zu werden. Dabei bewegen sich ihr Körper und ihr Kopf unabhängig voneinander. Während sich Ersterer auf den Fang einstellt, bleibt Letzterer stets auf die Beute ausgerichtet. Bislang ging man davon aus, dass diese Zielfokussierung reaktiv erfolgt, die Libelle also ihren Kopf stets so bewegt, dass sie das Zielobjekt immer wieder in das Zentrum ihres Blickfelds und damit in den Bereich schärfsten Sehens zurückführt, sobald es sich daraus verschiebt – ob

durch eigene Bewegung oder die der Beute verursacht.

Um die Kopfbewegungen besser zu verstehen, führten die Wissenschaftler Messungen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera durch. Dazu waren jedoch kontrollierte Laborbedingungen erforderlich, aber unter denen legen Libellen normalerweise kein Beutefangverhalten an den Tag. Die natürliche Umgebung musste also möglichst gut simuliert werden: durch eine Flugarena mit einer natürlichen Kulisse und einer Beleuchtung, die einem hellen, sonnenreichen Tag entsprach.

Im Visier des Prognosemodells

Die Forscher registrierten minutiös Bewegungen von Räuber und Opfer – mal Taufliegen, mal Attrappen. Anhand dieser Daten berechneten sie, wie sich das Beutebild quer über das Libellenaug bewegt haben musste, und korrelierten dies mit den Kopfbewegungen. Zweifellos kompensierten die Tiere eine Verschiebung des Bilds aus dem Bereich schärfsten Sehens. Erstaunlicherweise zeigten die Daten aber, dass dies nicht im Nachhinein, sondern fast synchron erfolgte. Dieses Phänomen erklären Mischiati und seine Kollegen durch ein inneres Modell, das der Libelle Vorhersagen darüber erlaubt, wie sich Fremdd- und Eigenbewegungen auswirken.

Eine vorausschauende Steuerung bietet Vorteile gegenüber einer rein reaktiven. Denn obwohl die Reaktionszeit der Libelle mit etwa 50 Millisekunden sehr kurz ist, würde diese Zeitspanne doch immerhin 10 bis 25 Prozent der Dauer einer typischen Jagd ausmachen. Viele Neujustierungen verlängerten diese entsprechend – und würden das Risiko eines Misserfolgs erhöhen. Zudem verschiebt vor allem die eigene Rotation das Beutebild auf dem Auge. Den Effekt im Vorhinein kompensieren zu können, macht die Wahrnehmung der Libelle unempfindlicher gegen unerwartete Manöver ihres Ziels.

Freilich ist die Aussagekraft der Laboruntersuchungen begrenzt, beispielsweise wegen der zur Verfügung stehenden Beutetiere: Im Labor gezüchtete Taufiegen sind langsam und weichen kaum aus; und die Geschwindigkeit von Attrappen ließ sich nur einmal je Versuch ändern. Viele Insekten in der freien Natur fliegen aber viel unberechenbarer umher, und sie versuchen Räubern auszuweichen. Zwar dürfte dann eine reaktive Steuerung das Verhalten der Libelle dominieren, doch vermutlich auf der Basis einer Bewegungsvorhersage als Steuerungsgrundlage.

Diese Ergebnisse eröffnen die Möglichkeit, Bewegungsmodelle zu entwickeln, die prospektive und reaktive Kontrollmechanismen integrieren. Weicht die Realität von den Vorausberechnungen ab, ermittelt das Gehirn die nötigen Reaktionen, um sie wieder in Einklang zu bringen. Solche kognitiven Modelle kennen Forscher bislang nur von Wirbeltieren. Nun könnten sie solche Abläufe einfacher als bislang untersuchen – an jagenden Libellen, bei denen die zu Grunde liegenden neuronalen Schaltkreise leicht zugänglich und auch relativ groß sind.

Stacey A. Combes forscht im Department of Organismic and Evolutionary Biology der Harvard University in Bedford (Massachusetts).

© Nature Publishing Group

www.nature.com

Nature 517, S. 279–280, 15. Januar 2015

Falsche Freunde im Internet

Der neueste Freund bei Facebook oder Twitter erscheint manchmal etwas seltsam? Vielleicht steckt dahinter keine reale Person, sondern ein »Social Bot« – ein Programm, das sich vollautomatisch in den sozialen Netzwerken bewegt und dort nichts als die Absichten seiner Programmierer verfolgt.

VON ELKE REINECKE

Auf eine E-Mail mit unbekanntem Absender und verdächtigem Anhang fällt mittlerweile kaum noch jemand herein. Dagegen hat sich bei Twitter und anderen sozialen Netzwerken eine viel intelligenter Form der Irreführung längst verbreitet: virtuelle Persönlichkeiten ohne echten menschlichen Hintergrund, die häufig kaum als solche zu erkennen sind.

Ein solcher »Social Bot« hat mit einem gewöhnlichen »Bot« (von englisch: robot = Roboter) nur noch wenig zu tun. Letzterer ist zum Beispiel ein »Webcrawler«, der automatisch das World Wide Web durchsucht und dabei E-Mail-Adressen und andere Informationen einsammelt. Auch Social Bots sind voll automatisiert: Einmal losgelassen, erfüllen sie ihre Aufgaben ohne Rückkopplung mit ihrem Schöpfer. Aber darüber hinaus versuchen sie, mit real existierenden Menschen eine soziale Verbindung aufzubauen. Dafür treffen sie Entscheidungen basierend auf ihrem menschlichen Umfeld und versuchen, für Menschen unübliche Verhaltensmuster zu vermeiden.

Die Auftraggeber der Social Bots verfolgen verschiedene Ziele – zum Beispiel das Publikum über die eigene Beliebtheit zu täuschen. So gilt ein Twitteraccount als umso bedeutender, je mehr »Follower« er aufzuweisen hat. Dessen Besitzer kann sich also als populärer hinstellen, als er ist, indem er sich Follower im Großpack kauft – die ihrerseits Social Bots sein können. Bei der Auktionsplattform Ebay findet man viele entsprechende Angebote. Ebenso kann eine Firma oder ein Shop eine größere Beliebtheit vortäuschen. Dieselbe Firma ist jedoch auf der Seite der Geschädigten, wenn sie etwa für Marke-



@spektrum ist echtes Menschenwerk!

tingmaßnahmen einen Dienstleister bezahlt, der aber an Stelle lobender Äußerungen echter Kunden nur solche von Algorithmen anbringt. Ein Social Bot kann auch E-Mail-Adressen von Menschen einsammeln, die auf seine Tweets reagieren und damit spezielle Interessen zu erkennen geben – Daten, die sich Gewinn bringend für Werbezwecke einsetzen lassen.

Wahlmanipulation per Twitter

Eine besonders hinterhältige Nutzung von Social Bots ist die automatisierte üble Nachrede durch Verbreiten von Gerüchten. In der Politik kann dies sogar zur Wahlmanipulation eingesetzt werden. So war 2010 kurz vor der Nachwahl für einen Senatssitz des Bundesstaats Massachusetts (der durch den Tod von Edward Kennedy vakant geworden war) eine Flut von Tweets zu beobachten, die darauf ausgerichtet waren, die demokratische Kandidatin Martha Coakley in ein schlechtes Licht zu rücken (*Science* 338, S. 472, 2012).

Manchmal dient die Täuschung auch einem guten Zweck: Im Jahr 2013 hat eine spanische Gruppe von Wissenschaftlern »Negobot« entwickelt, eine »virtuelle Lolita«, die sich als 14-jähriges Mädchen ausgibt und Pädophilen

Informationen entlocken soll. Wie man sich denken kann, gab es hier aber rechtliche Probleme.

Wie stark die sozialen Netzwerke wirklich infiltriert sind, kann naturgemäß nur vermutet werden. Denn Social Bots »leben« davon, nicht erkannt zu werden. Schätzungen schwanken stark, um die zehn Prozent werden es wohl sein. Die Firma Twitter selbst hat in ihrem Bericht an die amerikanische Börsenaufsicht Mitte 2014 angegeben, dass elf Prozent der Zugriffe mit Hilfe externer Tools erfolgen und bei 8,5 Prozent der aktiven Nutzer regelmäßige Aktualisierungen automatisiert ablaufen, ohne dass darüber hinaus weitere Aktivitäten erkennbar wären, die auf einen menschlichen Nutzer hinweisen.

Für Social Bots sind die sozialen Netzwerke ideale Jagdgründe, weil sie mit geringem Aufwand sehr viele Personen gleichzeitig erreichen und die Kommunikation nicht viel Aufwand erfordert. Wenn wie bei Twitter die Nachrichten auf 140 Zeichen begrenzt sind, lässt dies keinen Spielraum für eine tiefgründige Kommunikation, die eine Maschine in jedem Fall überfordern würde.

Wie im echten Leben stellt sich nun die Frage: Wie entlarve ich die »unechten Freunde«? James Caverlee von der



Der Sieger der »Social Bot Challenge« wird eindeutig enttarnt.

Können Social Bots denken?

Ein Programm, das einen Menschen erfolgreich glauben macht, es sei ein Mensch, würde den berühmten »Turing-Test« bestehen. Mit diesem Gedankenexperiment hatte 1950 der Computerpionier Alan Turing (1912–1954) die Klärung der Frage vorangetrieben, an welchen Merkmalen ein Mensch das Urteil »Mein Kommunikationspartner kann denken« festmacht.

Der Test verläuft so: Ein menschlicher Fragesteller führt mit zwei ihm unbekanntem Gesprächspartnern eine Unterhaltung per Computerbildschirm. Der eine Gesprächspartner ist ein Mensch, der andere eine Maschine. Beide versuchen, den Fragesteller davon zu überzeugen, dass sie denkende Menschen sind. Wenn dies der Maschine gelingen würde, dann, so Turing, gäbe es keinen Grund, ihr das Denkvermögen abzusprechen.

Institutionen, die heute einen Turing-Test durchführen, fordern in der Regel, dass mindestens ein Drittel der Fragenden –

gelegentlich auch mehr – den Computer für menschlich halten müssen. An diesem Maßstab scheiterte sogar »Eliza«, das berühmt gewordene Programm von Joseph Weizenbaum, das im Dialog mit seinem menschlichen Partner sehr überzeugend die Rolle eines Psychiaters einnimmt.

Im Jahr 2014 konnte der Chatbot »Eugene Goostman« (Bild unten, siehe auch www.princetonai.com), ein Werk dreier Programmierer aus St. Petersburg, bei einem Wettbewerb aus Anlass von Turings 60. Todestag in der Tat ein Drittel der Juroren glauben machen, er sei ein Mensch. Ob das Computerprogramm damit als erstes den Turing-Test bestanden habe, wurde jedoch auf Grund der Einzelheiten sehr kontrovers diskutiert. Gesprächsprotokolle finden sich unter www.theguardian.com/technology/2014/jun/09/eugene-person-human-computer-robot-chat-turing-test.

Texas A&M University und seine Kollegen hatten dazu 2011 eine verblüffend einfache Idee. Sie stellten eine »Honigfalle« (honeypot) für Bots auf: einen Twitteraccount, der nichts als unverständlichen Unsinn verbreitete. Welcher Mensch sollte hier durch Anklicken des »Follow«-Buttons schon den Wunsch äußern, mit noch mehr Buchstabensalat traktiert zu werden? Der Account fand dennoch viele Follower.

Ein schöner Erfolg – aber das Erkennen eines Social Bot erinnert an die Geschichte vom Hasen und dem Igel. Als Emilio Ferrara und seine Kollegen von der Indiana University in Bloomington 2013 weiterentwickelte »honeypots« im Netz installierten, fielen nur noch eine Hand voll Bots darauf rein. Die Wissenschaftler entwickelten daraufhin ein eigenes Regelwerk, um die Falschspieler der Social Networks zu entlarven (<http://arxiv.org/abs/1407.5225>). Sie be-

obachten sämtliche Äußerungen eines Twitteraccounts und analysieren sie nach verschiedenen Kriterien wie Zeitmuster, Form der Inhalte oder Verwendung von Wörtern emotionalen Inhalts. Wenn zum Beispiel ein Tweet jeden Morgen pünktlich um 8.37 Uhr erfolgt, spricht das genauso gegen einen menschlichen Autor wie ein Zeitmuster, das zwar eindeutig zufallsbestimmt ist, aber dem twitternden Menschen keine Zeit zum Schlafen geben würde.

Diese Forschergruppe hat ihren Algorithmus veröffentlicht: Auf der Seite »Bot or Not?« (<http://truthy.indiana.edu/botornot>) kann jeder ausrechnen lassen, mit welcher Wahrscheinlichkeit sich hinter einem bestimmten Account ein echter Mensch verbirgt.

Natürlich habe ich den Test getestet. Kandidaten waren

- der Account @spektrum, der von dieser Zeitschrift betrieben wird,
- @JamesTitus, der 2011 als Sieger aus der »Social Bot Challenge« hervorging – es gab tatsächlich einen Wettbewerb um den erfolgreichsten Social Bot –, und
- @rh_neukoelln, der Servicebot der Rathausuhr Neukölln, der zu jeder vollen Stunde im schönsten Berliner Dialekt die Zeit ansagt.

Die Ergebnisse sind gemischt (Bilder S. 15 und 16). Immerhin glaubt der Test den Kollegen von »Spektrum der Wissenschaft«, dass sie menschlicher



Leider hat Eugene Goostman sich vorläufig verabschiedet, so dass kein Gespräch mit ihm möglich ist. Es bleibt abzuwarten, wann er wieder zur Verfügung steht.

Natur sind. Auch den berühmten Fake-Account entlarvt er jenseits vernünftigen Zweifels. Aber ausgerechnet bei der Rathausuhr, die kein Mensch für einen anderen Menschen halten würde, deutet das Ergebnis nicht auf einen Bot. Hier ist der gesunde Menschenverstand dann doch der bessere Ratgeber.

Schlussendlich ist das Rennen von Hase und Igel höchstwahrscheinlich schon längst in die nächste Runde gegangen: Durch die Veröffentlichung hat nun jeder Gelegenheit, einen Bot so zu programmieren, dass er den Test »Bot or Not?« besteht.

Elke Reinecke ist Wissenschaftsjournalistin in Heidelberg.



Die Rathausuhr Neukölln versucht nicht einmal, sich als Mensch zu tarnen. Aber der Test ist da anderer Meinung.

TRUTHYINDIANA.EDU/BOTORNOT/75N-RH_NEUKOELLN

WWW.PRINCETONAI.COM/BOT

Mit Röntgenblitzen ins Zellinnere blicken

Ultrakurze, extrem intensive Röntgenpulse entfalten eine zerstörerische Wirkung. Doch kurz davor ermöglichen sie hoch aufgelöste Bilder. Dieser Trick funktioniert sogar mit lebenden Zellen.

VON JOACHIM SCHULZ

Die Lichtmikroskopie ist aus der biologischen Forschung nicht wegzudenken. Viele Details im Inneren von Zellen sind damit aber noch immer verborgen, denn optische Gesetze begrenzen die Auflösung. Bei sichtbarem Licht beträgt diese rund 200 Nanometer, etwa die halbe Wellenlänge. Kleinere Strukturen verschwimmen.

Biologen würden deshalb gern die deutlich kurzwelligere Röntgenstrahlung verwenden. Sie lässt sich beispielsweise mit so genannten Synchrotronen erzeugen – riesigen Anlagen, in denen Elektronen beschleunigt werden. In den Kurven geben die Teilchen einen Teil ihrer Bewegungsenergie als Strahlung ab. Wenn spezielle Magnetstrukturen sie auf besonders enge Zickzackbahnen zwingen, senden sie Röntgenstrahlung mit Wellenlängen aus, die kleiner als ein zehntel Nanometer sein können. Damit werden im Prinzip sogar einzelne Atome sichtbar.

Doch die Wellenlänge allein macht noch keine guten Aufnahmen. Eine weitere wichtige Größe ist die Intensität – es muss genug Strahlung das Objekt

treffen, um in der Kamera ein klares Bild zu erzeugen. Das allerdings führt zu einem Dilemma, wenn man eine lebende Zelle mit Röntgenstrahlen beobachten will: Sehr intensive Strahlung zerstört häufig die Probe, noch bevor ausreichend Licht den Detektor erreicht hat.

Einen Ausweg bieten so genannte Freie-Elektronen-Laser (FELs) im Röntgenbereich. Sie wurden aus Synchrotron-Strahlungsquellen entwickelt und erzeugen extrem kurze Impulse mit sehr hoher Spitzenleistung. Ein solcher Röntgenblitz durchläuft gleichzeitig die verschiedenen Teile des Objekts und hat darin überall die gleiche Form. Diese Eigenschaft bezeichnet man auch als räumliche Kohärenz. Sie sorgt dafür, dass alle gestreuten Wellen eine eindeutige Beziehung zueinander haben und letztlich ein Bild des Objekts hervorbringen können.

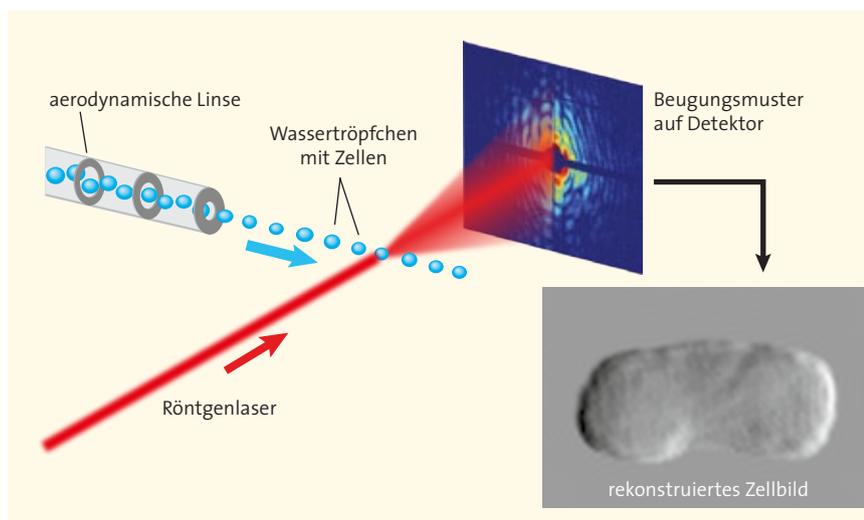
Zusammengenommen sind das ideale Voraussetzungen, um mit diesen Lichtpulsen Zellen und andere empfindliche biologische Proben zu untersuchen. Denn der Röntgenblitz ist so immens kurz, dass sich die Atome eines

Objekts praktisch nicht bewegen, während er die Probe durchquert. Selbst wenn diese danach regelrecht zerrissen ist – die Kamera hat dann bereits eine Momentaufnahme der noch intakten Struktur. Den Effekt nennen FEL-Physiker »diffraction before destruction«, Streuung vor Zerstörung.

Ein Schuss durchleuchtet ein ganzes Bakterium

Kürzlich publizierten wir in der Fachzeitschrift »Nature Communications« den ersten Beweis, dass dieses Verfahren tatsächlich an lebenden Zellen funktioniert (*Nature Communications* 6, 5704, 2015). Dabei handelte es sich um Zyanobakterien. Die Einzeller sind nur einige hundert Nanometer groß und kommen zahlreich in den Weltmeeren vor.

Detaillierte Bilder solcher Organismen gelangen bisher nur nach intensiver Präparation im Elektronenmikroskop. Das kann aber nur Oberflächen abtasten, daher müssen die Zellen gefroren und geöffnet werden, um die inneren Strukturen frei zu legen. Bei



Eine »aerodynamische Linse« bringt einen Tröpfchenstrom aus einer Zelllösung ins Schussfeld eines Röntgenlasers. Trifft ein einzelner Strahlungspuls auf ein Zyanobakterium, streut dieses das Licht auf einen Detektor. Ein Computerprogramm rekonstruiert anschließend aus dem Beugungsmuster ein Bild des Objekts.

Bewusstseinsforschung mit Folgen

Intelligente Roboter werfen ethische Probleme auf.

Das europäische Human Brain Project (HBP) hat sich das ehrgeizige Ziel gesetzt, in einem Supercomputer das gesamte menschliche Gehirn zu simulieren. Viele Forscher halten das Milliarden-Euro-Projekt allerdings für methodisch fragwürdig und forschungspolitisch unausgegoren. Besonders stört sie daran die stiefmütterliche Behandlung der Kognitionsforschung (*Science* 347, S. 1406–1407, 2015). Wenn man schon ein komplettes Computermodell des Gehirns anstrebt, so die Kritiker, dann sollte in der Planung doch wohl auch das Studium von Bewusstseinsvorgängen vorkommen.

Tatsächlich sehen viele Neurowissenschaftler schon den Tag kommen, an dem man verstehen wird, wie durch das Zusammenwirken bestimmter Neuronengruppen menschliches Bewusstsein entsteht. Obwohl Großprojekte wie das europäische HBP und das US-amerikanische BRAIN (Brain Research for Advancing Innovative Neurotechnologies; siehe Spektrum der Wissenschaft 3/2015, S. 22) noch weit davon entfernt sind, die Funktionsweise des Gehirns bis ins Detail zu entschlüsseln, sehe auch ich keinen logischen Grund, warum so etwas nie und nimmer gelingen soll. Das aber bedeutet: Eines Tages wird man wohl mit solchem Wissen Maschinen bauen, deren komplexes Verhalten nicht weniger auf Bewusstsein schließen lässt als das von Menschenaffen oder kleinen Kindern.

Die Aussicht auf Roboter mit künstlicher Intelligenz beflügelt nicht nur seit jeher die Sciencefiction, sondern hat sogar die Gründung einer eigenen philosophischen Disziplin namens Neuroethik angeregt. Beispielsweise möchte der Philosoph Thomas Metzinger die Entwicklung »künstlicher Ego-Maschinen« am liebsten ganz verbieten. Begründung: Die Erzeugung bewusstseinsfähiger Wesen vervielfache auch das Ausmaß erlebten Leidens. Wenn ich dieses Argument auf die Spitze treibe, stempelt es allerdings nicht nur den Bau empfindungsfähiger Maschinen zu einem mehr oder weniger sadistischen Akt, sondern betrifft genauso auch das Züchten von Tieren, ja sogar das Gebären von Kindern: Sie alle sind anfällig für Leiden und sollten daher gemäß Metzingers Logik besser gar nicht existieren.

Auch der Mediziner Hutan Ashrafiyan – er lehrt Chirurgie am Imperial College London – hält in nicht allzu ferner Zukunft Roboter mit künstlichem Bewusstsein für wahrscheinlich. Seine neuroethischen Bedenken betreffen vor allem das Zusammenleben solcher Wesen untereinander (*Nature* 519, S. 391, 2015). Unsereins hätte die Pflicht, einen Rechtsschutz für intelligente Roboter zu entwickeln. Eine »allgemeine Erklärung der Maschinenrechte« würde etwa Gladiatorenkämpfe zwischen Robotern verbieten, die einander zum Gaudium menschlicher Zuschauer in Stücke schlügen; schließlich fänden die meisten von uns auch Wetten auf Hahnen- und Hundekämpfe abscheulich. Deswegen schlägt Ashrafiyan zusätzlich zu den berühmten drei Robotergesetzen von Isaac Asimov, die das Zusammenleben von Mensch und Maschine regeln, ein viertes vor: Alle halbwegs intelligenten und bewussten Roboter verhalten sich zueinander wie Brüder und Schwestern.

Bisher übersehen die Neuroethiker allerdings ein Mensch-Maschine-Problem, das mir naheliegender scheint als die genannten: Falls Roboter einmal tatsächlich ähnlich intelligent und empfindsam sein werden wie höhere Tiere und kleine Kinder, müssten wir ihnen dann nicht auch so viel Pflege und Schutz gewähren wie diesen? Analog zum Tierschutz, den wir für die ungeahnt klugen Hühner fordern (siehe den Artikel in diesem Heft ab S. 32), sollte der Maschinenschutz womöglich die Massenroboterhaltung ächten!



Michael Springer

Röntgenstrahlen ist das nicht nötig, denn sie durchdringen die Proben mühelos und ermöglichen Durchlichtbilder wie im optischen Mikroskop.

In unserem Verfahren spritzen wir eine Emulsion von Zellen durch eine haarfeine Glasdüse. Heliumgas presst den Flüssigkeitsstrahl dann auf etwas mehr als einen Mikrometer Durchmesser zusammen. Dieser ultradünne Strom zerfällt von selbst in winzige Tröpfchen, die jeweils höchstens ein Bakterium enthalten.

Luft würde das Röntgenlicht des FEL zu stark streuen und ein diffuses Rauschen im Detektor erzeugen. Deswegen muss das so entstandene Tropfen-Luft-Gemisch noch in eine Vakuumkammer geleitet werden. Um darin die Tropfen mit den Zyanobakterien auf Spur zu halten, benutzen wir aerodynamische Linsen – das sind fein abgestimmte Reihen von kleinen Öffnungen, die den Luftstrom leiten. Die Zellen überleben den Durchgang durch das Vakuum; sie können hinterher sogar wieder eingefangen und ganz normal vermehrt werden.

Vom Beugungsmuster zum gewohnten Bild

Auf die im Vakuum frei fliegenden Bakterien trafen einzelne Impulse der Linac Coherent Light Source, des Röntgenlasers im US-amerikanischen Stanford. Jeden einzelnen Treffer haben wir mit einer schnellen CCD-Kamera gemessen. Ihre Detektoren funktionieren ähnlich wie die von Digitalkameras, sind aber so empfindlich, dass sie sogar einzelne Lichtteilchen erkennen können.

Diese Eigenschaft der Kamera ist für unser Experiment deshalb wichtig, weil die Intensität der gestreuten Röntgenstrahlung in den Außenbereichen des CCD-Chips schnell abnimmt. Doch gerade auf sie kommt es an: Das auf dem Detektor gemessene Signal ist nicht das unmittelbare Abbild der Zelle, sondern ein Beugungsmuster. Aus ihm ergibt sich erst mit Hilfe mathematischer Umrechnungen eine Darstellung, wie wir sie von Lichtmikroskopen kennen. In solch einem Muster stehen die inneren Bereiche für die grobe Struktur des Objekts und die äußeren für die Details.

Damit bestimmt die Information am Rand des Chips, bis zu welcher Auflösung kleine Strukturen des Objekts zu sehen sein werden. Oft sind es aber nur wenige Photonen, die so weit weg gestreut werden. Daher ist die Empfindlichkeit des Detektors sehr wichtig.

Die nächste Herausforderung ist, aus den Beugungsmustern reale Abbildungen der durchleuchteten Zellen zu gewinnen. Bei der optischen Mikroskopie sorgen dafür bereits die Linsen im Strahlengang. Leider gibt es keine ausreichend guten vergleichbaren Bauteile für Röntgenlicht. Eine Glaslinse im Lichtmikroskop verarbeitet außerdem die gesamte Information der Welle, die aus Intensität und Phase besteht (der Lage der Wellenberge zueinander). Ein Detektor hingegen misst nur die Intensität des Lichts. Um diese Probleme zu lösen, brauchen wir Computerprogramme. Sie müssen einerseits die fehlende Phaseninformation finden und zusätzlich aus dem Beugungsbild eine Abbildung rekonstruieren, die uns vertraut ist.

Da das Programm mit zufälligen Werten startet, kommt bei jedem Lauf des Algorithmus ein etwas anderes Bild heraus. Deshalb ist es bei dieser Methode wichtig, sich zu überzeugen, dass die errechnete Abbildung die Zelle zuverlässig darstellt. In unserer Veröffentlichung zeigen wir zehn Schnappschüsse von zehn verschiedenen Zellen. Jedes Bild sieht schon auf den ersten Blick so aus, wie wir es von einem Zyanobakterium erwarten. Sicherheitshalber führten wir jede Rekonstruktion 400-mal durch und verglichen alle Ergebnisse rechnerisch miteinander. In neun der Fälle waren sich mehr als 300 der Darstellungen so ähnlich, dass sie die Zelle zuverlässig abbildeten. Im zehnten Fall befand sich die Zelle offenbar gerade in der letzten Phase der Zellteilung. Immerhin führten hier 96 von 400 Rekonstruktionsversuchen zu demselben Ergebnis.

Die Auflösung liegt zwischen 76 und 131 Nanometern. Das ist zwar schon besser als mit Lichtmikroskopie, aber unsere Methode hat noch viel mehr Potenzial. Bereits von der Geometrie des Versuchsaufbaus wären rund 40

Nanometer möglich gewesen. Dass wir diese Auflösung nicht erreichten, lag an der Kamera. Wir wollten die Aufnahme im Innenbereich nicht überbelichten, denn dann hätten die Rekonstruktionen nicht funktioniert. Dafür mussten wir auf feinere Strukturen außen im Beugungsbild verzichten.

Bis auf Molekülebene sehen

Dieses Problem ließe sich durch bessere Detektoren beheben. Solche werden gerade beispielsweise für den neuen European XFEL in Schenefeld bei Hamburg entwickelt. Eine andere Möglichkeit wäre es, den Detektor im Zentrum mit Graufiltern wie mit einer Sonnenbrille abzuschatten.

Wohin derartige Verbesserungen potenziell führen könnten, loteten wir in einem anderen Experiment aus. Wir wählten eine Aufnahme mit möglichst hoher Intensität. Hier war das Bild im Zentrum des Detektors übersättigt, so dass sie nicht rekonstruierbar war. Doch in den Außenbereichen erkannten wir Beugungsstrukturen, die eine Auflösung von vier Nanometern ermöglicht hätten. Das liegt in der Größenordnung kleiner Eiweißmoleküle. Mit unserer Methode ist es also grundsätzlich möglich, vollständige lebende Zellen mit einem einzigen Schuss des Röntgenlasers so detailliert aufzunehmen, dass sogar Proteine sichtbar werden. Doch dazu müssen wir das Problem der Überbelichtung in den Griff bekommen.

Diese neue Methode wird sowohl am LCLS als auch bei uns am European XFEL weiterentwickelt. Nicht nur lebende Zellen, auch kleinere Strukturen wie Viren oder einzelne Proteinkomplexe lassen sich damit unter die Lupe nehmen. Dank der einzigartigen Eigenschaften von Freie-Elektronen-Lasern gelingt das, noch bevor sich Schäden an empfindlichen Proben in der Abbildung niederschlagen. Biologen zeigen schon jetzt großes Interesse an dieser neuen Art von Röntgenmikroskopie.

Joachim Schulz ist Quantenphysiker und Gruppenleiter für Probenumgebungen an der European XFEL GmbH in Hamburg. Er bloggt unter www.scilogs.de/quantenwelt.

JAHRGANGS-CD-ROM 2014



Die CD-ROM bietet Ihnen alle Artikel (inklusive Bilder) des vergangenen Jahres im PDF-Format. Diese sind im Volltext recherchierbar und lassen sich ausdrucken. Eine Registerdatenbank erleichtert Ihnen die Suche ab der Erstausgabe 1978. Die Jahrgangs-CD-ROM kostet im Einzelkauf € 25,- (zzgl. Porto) oder zur Fortsetzung € 18,50 (inkl. Porto Inland).

So erreichen Sie uns:

Telefon: 06221 9126-743
www.spektrum.de/recherche

Fax: 06221 9126-751

E-Mail: service@spektrum.de