

AUSGABE 3
NOVEMBER 2013

RUPERTO CAROLA
FORSCHUNGSMAGAZIN



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

ORDNUNG

&

CHAOS




LIEBE LESERINNEN UND LESER DER RUPERTO CAROLA,

in dieser Ausgabe unseres Forschungsmagazins beschäftigen wir uns mit zwei mächtigen Antagonisten: Chaos und Ordnung. Eines unserer innersten Bedürfnisse ist es, die Welt zu strukturieren, Pfade in den Dschungel von Informationen, Wissen und Unkenntnis zu schlagen. Wir streben danach, ein Bild von der Welt und vom Geschehen um uns herum zu entwerfen, die Muster und Mechanismen zu verstehen, die den Dingen zu Grunde liegen. Oft jedoch stoßen wir mit diesem Streben an Grenzen – immer wieder müssen wir für wahr gehaltene Annahmen verwerfen und uns erneut auf die Suche begeben.

Für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist Neugier die treibende Kraft. Die Identifikation von Mustern, von Strukturen und von Ordnung im Chaos stellt für sie von den Geisteswissenschaften bis zu den Naturwissenschaften eine der grundlegenden Antriebsfedern dar. Dies zeigen auch die Beiträge der aktuellen Ruperto Carola. Sie stammen von Autoren unter anderem aus der Anorganik, den Neurowissenschaften, der Mathematik, den Transkulturellen Studien oder auch den Politikwissenschaften. In dieser Vielfalt, die nur eine Volluniversität wie die Universität Heidelberg abbilden kann, liegt die große Chance, komplexe Fragestellungen innovativ zu bearbeiten.

Allen Leserinnen und Lesern unseres Magazins **ORDNUNG & CHAOS** wünsche ich eine erkenntnisreiche und spannende Lektüre!



Prof. Dr. Bernhard Eitel
Rektor der Universität Heidelberg



BILDER UND WELTEN

EXPERTEN IM GESPRÄCH
**CHAOS ODER ORDNUNG?
VOM WESEN DER WELT**
INTERVIEW MIT HANS GEORG BOCK & STEFAN MAUL

6

VISUELLE OBJEKTERKENNUNG
**BILDER IM CHAOS
DIE GRAMMATIK DER MUSTER**
BJÖRN OMMER

16

ANORGANIK
**MOLEKULARE ÄSTHETIK
CHEMIE ODER DIE LIEBE ZUR GEOMETRIE**
PETER COMBA

24

PSYCHOLOGIE
**MIT HERZ UND VERSTAND
SCHLÜSSEL ZU EINER KOMPLEXEN WELT**
JOACHIM FUNKE

36

MUSTER UND IDENTITÄTEN

NEUROSCIENCE
**CHAOTIC MINDS
THE INTERPLAY BETWEEN NEURONS**
DANIEL DURSTEWITZ & ANDREAS MEYER-LINDENBERG

46

TRANSKULTURELLE STUDIEN
**DER WURZELN BERAUBT
ANDINE WELT IN TRÜMMERN**
CLAUDIA BROSEDER

56

WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGESCHICHTE
**PARADOXON DER MODERNE
INDUSTRIELLE KATASTROPHEN ALS ORDNUNGSELEMENTE**
KATJA PATZEL-MATTERN

64

ANGLISTIK
**WE ARE MOVING TO BROOKLYN!
SPRACHMUSTER UND MOBILITÄT**
BEATRIX BUSSE

74

IMPRESSUM

83

STRUKTUREN UND PRINZIPIEN



PSYCHOLINGUISTIK
**DIE MACHT DER WORTE
SPRACHE STEUERT DEN BLICK**
CHRISTIANE VON STUTTERHEIM & JOHANNES GERWIEN

86

MOLEKULARBIOLOGIE
**VOM PRINZIP DES LEBENS
IM MIKROKOSMOS DER STAMMZELLEN**
ANTHONY HO & THOMAS W. HOLSTEIN

94

ENTWICKLUNGSBIOLOGIE
**AM ANFANG WAR DIE ZELLE
CHAOS ALS ORDNUNGSPRINZIP?**
JOCHEN WITTBRODT

102

MEDIZIN
**AUS DEM TAKT
DER RHYTHMUS DES HERZENS**
EBERHARD SCHOLZ & HUGO A. KATUS

110

MODELLE UND SYSTEME



PUBLIC HEALTH
**CLIMATE OF UNCERTAINTY
GLOBAL WARMING – A HEALTH RISK**
RAINER SAUERBORN

122

MATHEMATIK
**DER TANZ DER MOLEKÜLE
MODELLIERUNG DES EXPERIMENTELL UNMÖGLICHEN**
ANNA MARCINIAK-CZOCHRA & MORITZ MERCKER

132

MIKROÖKONOMIE
**DIE QUAL DER WAHL
MODELLE, PROGNOSEN UND DER STÖRFaktor MENSCH**
CHRISTOPH BRUNNER

140

POLITIKWISSENSCHAFTEN
**DIE ORDNUNG DER WELT
DER STEINIGE WEG ZU MEHR DEMOKRATIE**
SEBASTIAN HARNISCH & MAX-OTTO BAUMANN

148



EXPERTEN IM GESPRÄCH
CHAOS ODER ORDNUNG?
VOM WESEN DER WELT
INTERVIEW MIT HANS GEORG BOCK & STEFAN MAUL

6



VISUELLE OBJEKTERKENNUNG
BILDER IM CHAOS
DIE GRAMMATIK DER MUSTER
BJÖRN OMMER

16



ANORGANIK
MOLEKULARE ÄSTHETIK
CHEMIE ODER DIE LIEBE ZUR GEOMETRIE
PETER COMBA

24



PSYCHOLOGIE
MIT HERZ UND VERSTAND
SCHLÜSSEL ZU EINER KOMPLEXEN WELT
JOACHIM FUNKE

36

BILDER UND WELTEN



CHAOS

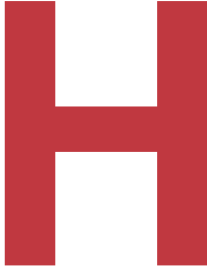
**ODER
ORDNUNG?**

CHAOS ODER ORDNUNG?

VOM WESEN DER WELT

INTERVIEW MIT HANS GEORG BOCK & STEFAN MAUL

Chaos und Ordnung sind zwei gegensätzliche Pole, die unsere Erlebens- und Gefühlswelt wesentlich beeinflussen. Mit dem Chaos verbinden wir Anarchie, unkalkulierbare Strukturen, Hilflosigkeit, Aufruhr und Zerstörung. Die Ordnung hingegen ermöglicht abgesicherte Prognosen, sie reduziert Unsicherheiten und schafft Verlässlichkeit. Welche Bedeutung aber haben die beiden gegensätzlichen Begriffe für die Wissenschaften? Umschreiben sie relevante Zustände von Welt und Umwelt oder handelt es sich lediglich um gedankliche Hilfskonstruktionen? Der Mathematiker Hans Georg Bock und der Altorientalist Stefan Maul diskutieren diese Frage.



Herr Prof. Bock, aus Ihrer Perspektive als Mathematiker: Gibt es Chaos überhaupt?

Prof. Bock: In der Mathematik sprechen wir zwar von chaotischen Prozessen und haben ihnen mit der Chaosforschung einen ganzen Wissenschaftszweig gewidmet – tatsächlich beruhen diese Prozesse aber nicht auf zufälligen Ereignissen, sondern im Gegenteil auf höchst deterministischen Vorgängen. Allerdings haben schon kleinste Änderungen der Ausgangssituation, minimale Störungen des Umfelds oder auch nur eine geringfügige Veränderung einzelner Parameter dramatische Auswirkungen auf solche Systeme.

Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Wettervorhersage: Je länger die Zeitspanne ist, über die wir das Wetter vorhersagen wollen, desto größer wird die Unsicherheit. Jede noch so winzige Störung kann maximale, für uns chaotisch erscheinende Auswirkungen haben. Dennoch passiert nichts zufällig, Ursache und Wirkung sind deterministisch. Die Empfindlichkeit derartiger nichtlinearer dynamischer Systeme bezeichnet die Mathematik auch als Schmetterlingseffekt – rückgreifend auf den amerikanischen Meteorologen Edward N. Lorenz, der sich die Frage gestellt hat, ob der Flügelschlag eines Schmetterlings in Brasilien einen Tornado in Texas auslösen kann.

Chaotische Systeme können im Übrigen ausgesprochen ordentlich aussehen. Das einfachste Beispiel hierfür ist ein Doppelpendel, also ein Pendel, an dessen Arm ein zweites Pendel befestigt ist. Die Bewegung dieser einfachen Konstruktion wirkt völlig chaotisch, trotzdem folgt sie einer strikten Gesetzmäßigkeit, die ich theoretisch beliebig lange hochrechnen könnte. Komplexe nichtlineare Gleichungen lassen sich im Allgemeinen jedoch nicht exakt lösen – und schon die minimalen Rundungsfehler, die bei einer Computerberechnung unvermeidbar sind, machen uns hierbei einen Strich durch die Rechnung.

Prof. Maul: Ob es das Chaos oder auch den Zufall real gibt, sei einmal dahingestellt. Jedenfalls handelt es sich dabei um Begriffe, die ein Gefüge von Strukturen mit unbekanntem Ordnungsparametern benennen. Chaos und Zufall bezeichnen also nichts weiter als ein hochkomplexes Netz von Kausalitäten, das undurchschaubar bleibt.

Ereignisse, die uns als zufällig und voneinander vollkommen unabhängig erscheinen, mögen in Wirklichkeit einander bedingen.

Prof. Bock: Zweifelsohne: In der Mathematik werden Chaos-Modelle und der Zufall als Konstrukte verwendet, um komplexe Interaktionen zu beschreiben, deren Struktur wir nicht genauer erfassen können.

Prof. Maul: Faszinierend ist, dass die Kulturen des Alten Orients, mit denen ich mich befasse, die Kategorie „Zufall“ gar nicht kennen. In ihrem Weltbild hat jedes Sein und jedes Wirken eine Ursache und ist Teil einer Kette von Kausalitäten, hinter der eine Intention, ein lenkender Wille steht. Für die Kategorie „Zufall“ ist da kein Platz.

Chaos ist also ein Hilfskonstrukt, Ordnung hingegen der anzustrebende Idealzustand?

Prof. Maul: Ich glaube, dass Menschen ganz grundsätzlich – egal in welcher Zeit – ohne die Vorstellung von einer sie umgebenden verlässlichen Ordnung nicht auskommen, letztlich nicht leben können. Um eine Perspektive für die Zukunft zu haben, muss der Mensch eine Schneise der Ordnung in das vermeintliche Chaos schlagen. Erst indem er die Gegenwartsordnung prognostisch in die Zukunft ausdehnt, vermag er sich zu orientieren und zu planen. Dabei ist es möglicherweise gar nicht so wichtig, ob sich das Ordnungsprinzip, auf dem die Hochschreibung basiert, als tragfähig erweist – also ob wir eine Zukunftsprognose erzeugen, die faktisch eintritt. Entscheidend ist vielmehr, dass die Prognose plausibel ist und gesellschaftliche Anerkennung findet.

Prof. Bock: Tatsächlich kommt es oft gar nicht so darauf an, dass unsere Vorhersagen einen Prozess für einen langen Zeitraum und in allen Aspekten präzise beschreiben. Dies zeigt sich auch an einem meiner ganz aktuellen Themen im Wissenschaftlichen Rechnen, dem „Dual Control“. Ziel dieses Forschungszweiges ist es, Prozesse prädiktiv zu steuern und zu optimieren. Die Prognose für den Prozess beruht dabei anfangs auf einem antizipativen Modell, quasi einem Gedankenexperiment. Dass die Modellberechnungen zumindest längerfristig von der Realität abweichen, ist zunächst nicht so wichtig. Viel wichtiger ist es, dass wir das Modell und seine Parameter kontinuierlich mit realen Erfahrungsdaten abgleichen und durch Feedback an die Realität anpassen. Wir müssen also unser Modell stetig neu kalibrieren.

Insbesondere chaotische Systeme zeichnen sich übrigens oft dadurch aus, dass ihre Parameter sehr einfach bestimmbar sind. Denn da die Systeme bereits auf kleinste Veränderungen der Parameter höchst empfindlich reagieren, lassen sich diese leicht identifizieren. Schon nach kurzer Beobachtung können wir relativ präzise sagen, wie ein

Modell beschaffen sein muss. Beispiel Doppelpendel: Ich brauche die Bewegung des Pendels nur wenige Momente aufzuzeichnen, um die relative Verteilung der Gewichte und der Längen bereits ziemlich sicher bestimmen zu können. Das Bild, das ich von der Bewegung zeichne, entspricht quasi einem Fingerabdruck.

Noch verblüffender ist jedoch, dass chaotische Systeme unter bestimmten Voraussetzungen sehr gut steuerbar sind. Denn meist reichen bereits minimale Veränderungen meiner Einflussgrößen aus, um einen gewünschten Effekt zu erzielen. Selbstverständlich funktioniert dies nur dann, wenn ich das Modell sehr genau verstanden habe und über geeignete Möglichkeiten verfüge, Einfluss zu nehmen. Auch für chaotische Systeme, die auf kleinste Störungen scheinbar völlig unvorhersehbar reagieren, gilt dabei: Ich muss mein Modell permanent an der realen Entwicklung orientieren und ständig per Feedback adaptieren. Nur dann lässt es sich gut steuern.



Professor Stefan Maul



Professor Hans Georg Bock

**„Mit dem Begriff
Chaos beschreiben
wir Strukturen,
deren Ordnungs-
parameter wir nicht
kennen.“**

Hierzu gibt es auch politische Analogien. In einer Gesellschaft, die durch „chaotische“ Zeiten geht, lassen sich durch kleinste Stimulationen an der richtigen Stelle kontrollierte Effekte erzielen – allerdings nur, wenn ich genau weiß, an welcher Stellschraube ich drehen muss und was sie bewirkt. Einige Agitatoren in der Geschichte haben sich dieses Wissen sehr zunutze gemacht, etwa indem sie Massenprozesse angezettelt haben.

Modelle der Realität stellen für uns also Ordnungsmechanismen dar und erlauben Prognosen. Herr Prof. Maul, wie haben die Gesellschaften im Alten Orient Ordnung geschaffen?

Prof. Maul: Das ist höchst spannend: Im Alten Orient treffen wir auf die feste Überzeugung, dass sachgerecht gedeutete Zeichen in Natur und Umwelt Prognosen über die Zukunft erlauben. Hierzu wurden beispielsweise die Gestirne am Himmel betrachtet. Einflussreich war darüber hinaus eine Lehre, nach der die Götter dem Opferspender Botschaften in den Eingeweiden seines Opfertiers übermitteln. Um zukünftige Chancen und Gefahren sicher erkennen zu können, hatte man ein hochkompliziertes, von zahlreichen Regeln geprägtes System der Deutung entwickelt. In dem Erscheinungsbild von Leber, Lungen und Gedärmen meinte man das Maß des Erfolges ablesen zu können, das dem Opferspender gewährt war. Erstaunlicherweise wollten weder Fürsten noch hartgesottene Generäle ihre politischen und militärischen Entscheidungen umsetzen, bevor deren Tragfähigkeit nicht durch die Zeichen der Eingeweidenschau nachgewiesen war.

Dem aufgeklärten Zeitgenossen ist dies schwer verständlich. Allerdings zeigt sich, dass es ganz unerheblich ist, ob das Verfahren der Gesellschaften des Alten Orients logisch ist – ob also tatsächlich ein kausaler Zusammenhang zwischen einer politischen Entscheidung und dem Aussehen einer inspizierten Leber besteht. Entscheidend ist vielmehr, dass man sich im Vorfeld einer Opferschau die bestehenden Handlungsmöglichkeiten bewusst machte – und dass alle denkbaren Handlungsalternativen erfasst wurden, die sich aus der zur Diskussion stehenden Fragestellung ergaben.

Prof. Bock: Kurz gefasst: Das System der Entscheidungsfindung in solchen Gesellschaften verläuft zufällig oder auch chaotisch. Der Prozess jedoch, der zu einer Entscheidung führt und der sich ihr anschließt, ist durchaus strukturbildend.

Ist es also viel weniger relevant, als man gemeinhin glaubt, ob unsere Entscheidungen zufällig sind oder ob sie auf wissenschaftlichen Prognosen beruhen? Auch diese liegen ja nicht immer richtig, wie uns die Finanzkrise eindrücklich gezeigt hat.



PROF. DR. DRES. H.C. HANS GEORG BOCK forscht und lehrt seit 1991 am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) der Universität Heidelberg. Seit 2005 ist er zudem Geschäftsführender Direktor des IWR. Seine wissenschaftliche Laufbahn führte ihn zuvor an die Universitäten Köln, Bonn, Heidelberg und Augsburg sowie an das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen. Zu den zentralen Forschungsinteressen des Mathematikers gehört die Entwicklung innovativer mathematischer Algorithmen der Optimierung und der optimalen Steuerung, die in wissenschaftlichen wie auch in industriellen Fragestellungen Anwendung finden. Für seine wissenschaftlichen Leistungen erhielt Hans Georg Bock mehrere Auszeichnungen, darunter die Ehrendoktorwürden der Vietnamesischen Akademie für Wissenschaft und Technologie sowie der Russischen Akademie der Wissenschaft. Darüber hinaus ist er Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften.

Kontakt: bock@iwr.uni-heidelberg.de

Prof. Maul: Niemand mag heute glauben, dass sich zukünftiges Geschehen aus einem Stück Fleisch ablesen lässt. Und schnell erklären wir die Eingeweidenschau zu einem Aberglauben, dem die Menschheit über Jahrhunderte hinweg unverständlicherweise aufgefressen ist. Die Wahrsager des Alten Orients waren sich dabei durchaus bewusst, dass ihre Prognosen angesichts der Komplexität ihrer Gedankengebäude fehleranfällig waren. Allerdings sahen sie die Prämissen ihrer Lehren durch unerwartete Ergebnisse nicht grundsätzlich in Frage gestellt. Vielmehr erklärten sie die falschen Vorhersagen – in einer Art von Zirkelschluss – immer wieder mit der enormen Komplexität ihrer Erkenntnisverfahren. Alles, was prinzipielle Zweifel weckte, konnten die Zeichendeuter so recht leicht entkräften.

Darin unterscheiden sie sich wenig von jenen Analysten unserer Zeit, die die jüngste fatale Wirtschaftsentwicklung nicht vorausgesehen haben. Obgleich dem so ist, bringt man dem Rat dieser Finanzexperten eine unbrochen gläubige Haltung entgegen. Mit erneuten Prognosen bestimmen sie nun die Wege, die aus der von ihnen mitverursachten Krise hinausführen sollen.

Auch die Festsetzung von Aktienwerten lässt sich nicht gerade als rational bezeichnen. Ein Aktienwert richtet sich nach dem Kredit, den man ihm gibt, nicht nach seinem Realwert. Sonst hätte es die Spekulationsblase gar nicht geben können. Folglich stellt sich die Frage: Welchen Wert hat eigentlich eine ökonomische Prognose und mit welchen Parametern kann sie arbeiten, wenn sie von im Grunde nicht kalkulierbaren Elementen beeinflusst wird? Ordnung und Chaos sind hier so eng miteinander verwoben, dass sie auch mit mathematischen Mitteln nicht mehr zu durchdringen sind.

Prof. Bock: Solche Rückkoppelungsprozesse sind in der Tat tückisch. Denn häufig werden Aktienkäufe und -verkäufe heutzutage durch Computersoftware abgewickelt. Wenn nun verschiedene Anwender Programme verwenden, die auf ähnlichen Gesetzmäßigkeiten basieren, kann das einen unglaublich selbstverstärkenden Effekt haben – autokatalytisch nennen die Chemiker solche Prozesse. Denn die Prognose provoziert eine Reaktion, die die Prognose bestätigt. In dem Moment aber, in dem die Prognose bestätigt wird, befeuert dies erneut die Reaktion.

Das Beispiel des computerbasierten Aktienhandels lässt – obwohl es sehr komplex und dynamisch ist – dennoch eine gewisse Ordnung erkennen. Inwieweit lassen sich die naturwissenschaftlichen Prinzipien der Strukturbildung auch auf soziale Prozesse anwenden?

Prof. Bock: In Teilen ist dies möglich, aber nicht mit hoher Sicherheit und nicht über große Zeiträume. Selbst viele physikalische Gesetze stimmen eigentlich

DEAR READERS OF RUPERTO CAROLA,

In this edition of our research magazine, we examine two powerful antagonists: chaos and order. Structuring the world, cutting paths through the jungle of information, knowledge and ignorance is something that speaks to our innermost needs. We strive to build a coherent image of the world and the events around us, to understand their underlying patterns and mechanisms. More often than not, our efforts lead us down the wrong path – forcing us to discard assumptions we once held to be true and start over.

Curiosity is the great motivator for any scientist, scholar and researcher. Finding patterns, structures and, indeed, order in the midst of chaos is a major driving force, as illustrated by the articles in the current edition of Ruperto Carola. They were authored by researchers from the fields of inorganic chemistry, neuroscience, mathematics, transcultural studies and political science, among others. It is this diversity, unique to a comprehensive university like ours, that gives us the chance of finding innovative ways to answer complex questions.

I wish you an inspiring and exciting reading experience with our ORDER & CHAOS edition of Ruperto Carola!

Prof. Dr. Bernhard Eitel
Rector of Heidelberg University

„Menschliches Verhalten basiert auf einem Netz von Kausalbeziehungen, das wir schlichtweg nicht in seiner Gesamtheit erfassen können.“

nur im Mittelwert. Ein Beispiel hierfür sind chemische Reaktionen in einer Lösung: Niemand kann genau vorhersehen, welches Molekül mit welchem Molekül reagieren wird und an welcher Stelle in der Lösung dies passiert. Wenn wir jedoch über die Ergebnisse aller potentiellen Reaktionen mitteln, kommen wir zu sehr präzisen Vorhersagen über die Vorgänge in der Lösung. Menschliches Verhalten ist aber viel komplexer als das von Molekülen.

Viele Beispiele aus dem sozialen Bereich, für die eine Prognose mit naturwissenschaftlichen Methoden versucht wurde, waren nutzbringend – andere fatal. Bei der Love Parade in Duisburg vor ein paar Jahren etwa hatte man einen Verkehrsforscher damit beauftragt, das Sicherheitskonzept der Veranstalter mithilfe von Simulationen zu prüfen. Er befand das Konzept zwar grundsätzlich für in sich logisch und schlüssig, jedoch können derartige Prognosen eben nie alle Kausalitäten berücksichtigen, die der Faktor Mensch in eine solche Situation hineinbringt.

Prof. Maul: Sobald der Mensch ins Spiel kommt, wird es eben chaotisch. Denn das Netz von Kausalbeziehungen, das menschliches Verhalten mit sich bringt, können wir schlichtweg nicht in seiner Gesamtheit erfassen. Also definieren wir in unseren Simulationsmodellen einige wenige Kausalbeziehungen und hoffen, dass es die wichtigsten sind. Wir verfahren so wie ein Chirurg, der, wenn er eine Bauchspeicheldrüse operiert, alle anderen Körperstellen abdeckt und sich nur auf diesen einen Teil konzentriert. Bei Modellbildungen ignorieren wir 95 Prozent der beteiligten Faktoren in der Hoffnung, die entscheidenden fünf Prozent erfasst zu haben. Diese Methodik kann durchaus nutzbringend sein, allerdings muss uns bewusst sein, dass unsere Modelle niemals das ganze Phänomen erfassen.

Ordnung ist demnach also eher ein beschränktes Gedankenkonstrukt?

Prof. Maul: Es mag zwar beschränkt sein, dennoch hat es eine ganz wichtige Funktion. Gedankenmodelle ermöglichen es uns, unter vereinfachten Bedingungen eine Vorstellung von dem Sein zu entwickeln, in dem und durch das wir agieren können. Kurz gefasst: Ordnung ist in hohem Maße eine Fiktion, die uns handlungsfähig macht. Wir brauchen das Konstrukt eines scheinbar mehr oder minder berechenbaren Raums, der eigentlich gar nicht berechenbar ist. Ordnung ist in diesem Sinne ein Instrument.

Der Wert einer Prognose für eine Gesellschaft ebenso wie für das Individuum kann dementsprechend nicht in ihrer Wahrheit liegen. Vorhersagen sind vielmehr deshalb so wichtig für uns, weil sie eine Lichtschneise in den Dunst der Zukunft werfen. Betrachten wir zum Beispiel die Zukunftsprognosen der 1960er-Jahre für die Jahrtausendwende. Der Vergleich mit dem, was tatsächlich kam, zeigt: Vorhersage und Realität lagen relativ weit auseinander.

THE NATURE OF THE WORLD

CHAOS OR ORDER?

INTERVIEW WITH HANS GEORG BOCK & STEFAN MAUL

Anarchy, erratic structures, helplessness, even upheaval and destruction – these are things we associate with the term “chaos”. Its opposite, order, on the other hand, permits dependable prognoses, reduces uncertainties and thus creates reliability. However, chaos may also have positive connotations – creativity, surprise, excitement – while order is sometimes perceived as sterile, unyielding and boring.

Chaos and order are two opposite poles that have a considerable influence on our feelings and perceptions. But what do these terms mean for the sciences – do they describe relevant conditions of the world and our surroundings or are they merely theoretical constructs? Mathematicians and physicists speak of “deterministic chaos” that is predetermined, even if it cannot be easily calculated. Any system of order, on the other hand, is on closer examination always context-dependent and very much man-made. Nevertheless, we plan our future based on such systems.

Hans Georg Bock, mathematician, and Stefan Maul, a scholar of ancient Middle Eastern studies, discuss questions raised by this edition’s key topic “Chaos & Order”. They give us insights into chaotic systems that are – against all intuition – quite easy to control, and into the culture of the ancient Middle East, whose societies derived their legitimisation from principles of a higher order. To them, chaos is merely a concept that helps us describe structures whose order parameters we do not know – while order is a fictitious system that nevertheless allows us to make prognoses and thereby lay the groundwork for our actions. ●

“It is the task of scientists to recognise and communicate order. They must, however, live with the fact that the order they recognise is never absolute.”

PROF. DR. DRES. H.C. HANS GEORG BOCK has been teaching and conducting research at Heidelberg University's Interdisciplinary Center for Scientific Computing (IWR) since 1991. Before moving permanently to Heidelberg, Dr. Bock's scientific career led him to the universities of Cologne, Bonn, Heidelberg and Augsburg and to the German National Aeronautics and Space Research Centre (DLR) in Oberpfaffenhofen. His research focuses on the development of innovative mathematical algorithms of optimisation and optimal control and their implementation in scientific as well as industrial applications. He has received numerous awards for his scientific work, among them two honorary doctorates of the Vietnamese Academy of Science and Technology and the Russian Academy of Science. Hans Georg Bock has been Managing Director of the IWR since 2005, and is a member of the Heidelberg Academy of Sciences and Humanities.

Contact: bock@iwr.uni-heidelberg.de

PROF. DR. STEFAN MAUL has held the chair of Assyriology at Heidelberg University's Department of Languages and Cultures of the Near East since 1995. Prior to that he was a researcher at the École Pratique des Hautes Études in Paris, La Sapienza University in Rome, the School of Oriental and African Studies at the University of London and FU Berlin. He is particularly interested in the cultural and religious history of the ancient Middle East and in the ancient rituals and medical treatments that were practiced in this region. Stefan Maul is a member of the Academies of Sciences and Humanities of Heidelberg and Göttingen. Furthermore, he is a member of the German National Academy of Sciences Leopoldina. In 1997, he received the most prestigious German research award for humanities scholars, the Gottfried Wilhelm Leibniz Prize. In 2005, he co-founded the Research Community for the Study of the Ancient World in Heidelberg, which he has been heading to this day.

Contact: stefan.maul@ori.uni-heidelberg.de

Die großen Umwälzungen, bedingt durch Computer und Internet, hatte niemand abgesehen – und der Mars wird auch heute noch nicht kolonialisiert. Gleichwohl haben sich die Menschen mit Planungen und Konzeptionen an ihren Prognosen entlangehandelt, sich an ihnen orientiert.

Prof. Bock: Es gibt nur ein wahres System. Das ist die Welt, so wie sie wirklich ist – nicht die Welt, wie wir sie wahrnehmen und in zwangsläufig vereinfachter Form modellieren. Für die Naturwissenschaften genauso wie für alle anderen Disziplinen gilt deshalb: Es gibt keine richtigen Modelle, nur nützliche und weniger nützliche Modelle.

Prof. Maul: Die Nützlichkeit eines Modells hängt dabei immer von bestimmten Kontexten, einer bestimmten Kultur und bestimmten Weltvorstellungen ab. Nehmen wir etwa die Beichte in der katholischen Kirche. Das ist eine wunderbare Institution, die entlasten und befreien kann – jedoch nur den, dessen Umfeld an die Beichte glaubt. Entscheidend ist also, ob ein Modell in seiner Zeit und seinem Umfeld für plausibel gehalten wird und anerkannt ist.

Prof. Bock: Modellierung und Simulation sind im Übrigen nicht erst von den Naturwissenschaftlern erfunden worden. Schon die griechische Tragödie war ein einziges Modellieren und Simulieren von psychologischen Archetypen und bestimmten Verhaltensweisen.

Prof. Maul: Ich würde noch viel weiter gehen: Jegliche Fiktion und jedwede Geschichte beinhaltet Modellierung und Simulation. In der Menschheitsgeschichte liefern die Alten Griechen so gesehen verhältnismäßig junge Beispiele.

Der Begriff „Chaos“ wird zumeist eher negativ konnotiert, der Begriff „Ordnung“ hingegen positiv. Wie wichtig aber ist Chaos für wissenschaftliche Arbeit? Können zu starke Regeln und Gewohnheiten die Kreativität, die Lust auf Neues unterbinden?

Prof. Bock: Wissenschaftler sind auf eine gewisse Diversität angewiesen, um interessante und innovative Strukturen zu entwickeln. Wir brauchen also chaotische, kreative und divergente Phasen, um auf neue Ideen zu kommen. Bestimmte Fragestellungen erfordern aber auch konvergente und zielgerichtete Arbeitsweisen, um in einem geordneten Prozess möglichst rasch zu einem konkreten Ergebnis zu kommen. Beides hat seine Daseinsberechtigung.

Das Chaos spielt übrigens noch in einer anderen Hinsicht eine ganz wichtige Rolle: Welche Prioritäten ein Wissenschaftler setzt und mit welchen Fragen er sich beschäftigt, basiert auf höchst komplexen psychosozialen Vorgängen, die viele potentiell chaotische, jedenfalls schwer vorhersagbare Elemente enthalten. Das hängt von seinem Umfeld ab – von aktuellen Ereignissen, zufälligen Begegnungen,

der Peergroup, aber auch von den Befindlichkeiten der jeweiligen Person sowie den erwarteten Belohnungen und Bestrafungen.

Prof. Maul: Auch vor dem Hintergrund meines wissenschaftlichen Tuns, dessen Wesen es ist, Ordnung herzustellen, glaube ich zu erkennen, dass es weder Ordnung noch Chaos gibt, sondern dass beide Konzepte lediglich blickwinkelbezogen existieren. Wir müssen Parameter anlegen, um einen Befund als chaotisch wahrzunehmen oder um in einem scheinbar chaotischen Befund ein Ordnungssystem frei zu legen. Der Mensch kann ohne solche Ordnungssysteme, ohne das vielfältige Netz von Kausalitäten, mit denen er sich umgibt, nicht existieren. Diese Ordnung zu schaffen, ist unter anderem Aufgabe der Forschung. Ein Wissenschaftler muss Ordnung erkennen und sie kommunizieren. Aber er muss auch damit leben, dass die von ihm erkannte Ordnung nicht absolut ist, dass sie von der jeweiligen Perspektive bestimmt wird und veralten kann.

Prof. Bock: Jede Art von wissenschaftlicher Aufklärung gilt nur unter eingeschränkten Bedingungen. Sie kann sich lediglich auf den Ausschnitt der jeweils beobachteten, aktuell zugänglichen Größen beziehen. So besteht immer die Möglichkeit, dass neue Daten zu ganz neuen Ergebnissen führen. Auch wissenschaftliche Erkenntnisse haben somit stets etwas Vorläufiges. ●

Das Interview führten Marietta Fuhrmann-Koch & Ute von Figura



PROF. DR. STEFAN MAUL ist seit dem Jahr 1995 Ordinarius für Assyriologie am Seminar für Sprachen und Kulturen des Vorderen Orients der Universität Heidelberg. Zuvor forschte er an der École Pratique des Hautes Études in Paris, an der Universität La Sapienza in Rom, an der School of Oriental and African Studies der Universität London sowie an der Freien Universität Berlin. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören die Kultur- und Religionsgeschichte des Alten Orients sowie altorientalische Rituale und Heilverfahren. Stefan Maul ist Mitglied der Heidelberger und der Göttinger Akademie der Wissenschaften sowie der Nationalakademie Leopoldina. 1997 wurde er mit dem höchsten deutschen Preis für Geisteswissenschaftler, dem Leibniz-Förderpreis von Bund und Ländern, ausgezeichnet. Im Jahr 2005 war er an der Gründung des Altertumswissenschaftlichen Kollegs Heidelberg beteiligt, das er bis heute leitet.

Kontakt: stefan.maul@ori.uni-heidelberg.de

**BILDER
IM CHAOS**

**CHAOS
BILDER IM**

BILDER IM CHAOS

DIE GRAMMATIK DER MUSTER

BJÖRN OMMER

Das menschliche Auge nimmt nur Helligkeitsunterschiede und Farben wahr. Unser Gehirn macht daraus Objekte, beispielsweise ein Haus, einen Baum, einen Menschen. Die Muster, nach denen das Hirn Gestalt bildet, hat es zuvor erlernt. Kann man die Fähigkeit, geordnete Strukturen aus einer komplexen Umwelt herauszufiltern, auch Computern beibringen? Wenn Maschinen erst die Grammatik der Muster verstehen, könnten sie vielleicht bald wie wir Menschen sehen.

D

Das Beobachten und Begreifen von Ordnung und Regularität in der ihn umgebenden Welt übt auf den Menschen von jeher eine außerordentliche Faszination aus. Wiederkehrende Muster in einem sich scheinbar chaotisch verhaltenden Umfeld zu erkennen, ist eine intellektuelle Leistung und die Grundlage für weiteren Fortschritt. So sagte der französische Dichter Paul Claudel zu Recht: „Die Ordnung ist die Lust der Vernunft, aber die Unordnung ist die Wonne der Phantasie.“

Auf welcher Skala auch immer wir die Welt um uns herum beobachten – Struktur und Regularität sind überall evident: Auf einer großen Skala entstehen aus formlosen Materiewolken durch die Gravitation Sterne, Sternensysteme und schließlich Galaxien mit Milliarden von Sternen. Auf der unmittelbaren Skala, die wir direkt mit unseren Augen erfassen können, erschließen sich uns die komplexen geordneten Muster und Formen, die Tiere, Pflanzen und leblose Objekte aufweisen, zum Beispiel die Symmetrie von Farnen, Seesternen oder Schneeflocken. Auf einer kleinen Skala reguliert die hochkomplexe Struktur des Erbmoleküls DNS die Entwicklung, Funktion und schließlich auch die Form und Struktur lebender Organismen. Regularität ist jedoch nicht nur räumlich ausgeprägt. Auch zeitliche Muster sind allgegenwärtig, etwa die Abfolge von Frühling, Sommer, Herbst und Winter oder der rhythmische Schlag unseres Herzens.

Struktur und Regularität, insbesondere Symmetrien, bewirken somit die Ausprägung verschiedenster Muster in Raum und Zeit. Dass solche komplexen geordneten Strukturen überhaupt existieren, ist erstaunlich. Schließlich impliziert der „Zweite Hauptsatz der Thermodynamik“, eine zentrale Annahme der Physik, dass die Entropie – der Grad der „Unordnung“ – in einem isolierten System, beispielsweise im Universum, stetig ansteigt. Erstaunlich ist auch, wie robust sich die geordneten Strukturen gegenüber störenden äußeren Einflüssen erweisen. Beides sind Grundvoraussetzungen für die Existenz von Leben.

„Auf den ersten Blick erscheint uns die Welt hoffnungslos komplex und chaotisch. Und doch sind überall in ihr Ordnung und Regularität zu erkennen.“

Die Faszination des Menschen für Muster ist folglich nicht weiter verwunderlich. Sie äußert sich auch darin, dass der Mensch immer wieder selbst in bildender Kunst, Literatur und Musik Muster erschafft. Etwa durch den Einsatz von Stilmitteln wie Symmetrie, Versmaß und Kontrapunkt. Letztlich gipfeln die Bemühungen im Streben, die Welt besser zu verstehen und mittels erkannter Regularität zukünftiges Geschehen vorherzusagen und auf Vergangenes rückzuschließen.

Was die Welt im Innersten zusammenhält

Muster und die Suche nach grundlegender Ordnung spielen also schon immer eine wichtige Rolle im menschlichen Denken. Im Vordergrund steht die Suche nach einer beschränkten Menge simpler Regeln, Gesetze oder Beziehungen, die – zusammen mit einfachen physischen Entitäten – komplexere Phänomene erklären können und helfen, die Welt begreifbar zu machen. Komplexe Phänomene werden somit durch das Erkennen einfacher, grundlegender Muster erklärt und durch das Ableiten konstruktiver Regeln vorhersagbar. Dabei wird schließlich ein Modell der Wirklichkeit – oder einzelner Aspekte derselben – entworfen, das diese beschreibt, weitergehende Aussagen ermöglicht und damit überprüfbar ist. Die Bedeutung der Regelmäßigkeiten, die in diesem Prozess erkannt werden, zeigt sich gerade auch darin, dass experimentell validierte physikalische Modelle als „Naturgesetze“ bezeichnet werden. Im Alltagsdenken wird „Mutter Natur“ damit gleichsam zu einem Subjekt stilisiert, das sich an diese Gesetze halten soll; andernfalls drohen katastrophale Folgen.

Halten wir fest: Um sich in unserer Welt zurechtzufinden, um sie zu verstehen, auf Vergangenes rückschließen und künftige Geschehnisse voraussagen zu können, ist es unabdingbar, im scheinbaren Chaos Ordnung und Muster zu erkennen und daraus abstrakte Konzepte und Regeln, „Modelle“, abzuleiten. Doch wie gelingt uns Menschen das? Wie erstellen wir Modelle der Wirklichkeit? Kann auch eine künstliche Intelligenz – eine Maschine wie der Computer – dazu gebracht werden, automatisch Modelle der Wirklichkeit zu erstellen? Dies ist eine Kernherausforderung der statistischen Mustererkennung und des maschinellen Lernens. Und es ist eine der wesentlichen Aufgaben im Bereich der künstlichen Intelligenz und der „Computer Vision“.

Viele Muster – ein Modell

Die meisten Modelle werden erlernt. Das heißt: Wir haben in der komplexen Welt eine Regularität beobachtet und gelernt, sie mit einem abstrakten Modell zu beschreiben. Dieses Modell wenden wir dann stets aufs Neue an, um Objekte wiederzuerkennen und die Welt zu erschließen. Wie aber eignen wir uns diese Muster an? Woran erkennen wir beispielsweise eine reife Erdbeere? Eine erste Antwort darauf gab der kanadische Psychobiologe Donald Hebb in den 1940er-Jahren. Hebb ging davon aus, dass das Gehirn des Menschen kein starres Gebilde ist, sondern beständig Assoziationen zwischen Sinneseindrücken herstellt. Auf das Beispiel Erdbeere bezogen heißt das: Es verknüpft visuelle Eindrücke, die häufig gemeinsam mit dem Objekt „reife Erdbeere“ auftreten. Das erscheint einfach – hätte unsere Welt nicht eben auch eine chaotische Seite, die sich darin zeigt, dass es keine Erdbeere gibt, die der anderen gleicht: Die äußere Form ist unterschiedlich, die Nüsschen auf ihrer Oberfläche sind anders verteilt; auch äußere Einflüsse, etwa das Licht, lassen die Farbe der Erdbeeren anders aussehen. Was unserem Gehirn ganz selbstverständlich gelingt, ist für die künstliche Intelligenz eine große Herausforderung, gilt es doch, von vielen Mustern reifer Erdbeeren auf ein einziges abstraktes Modell zu schließen.

Eine Vielzahl von Modellen käme in Frage, um die ganze Variabilität der bisher beobachteten Muster beschreiben zu können. Für welches aber sollen wir uns entscheiden? Da wir immer nur eine begrenzte Menge an Trainingsbeispielen sehen und Erdbeeren schließlich essen, nicht studieren wollen, bevorzugen Menschen intuitiv das simpelste Modell. Dieses basiert auf einer möglichst kleinen Anzahl von Variablen und Vorannahmen und lässt sich folglich leicht erlernen – selbst wenn es nur eine eingeschränkte Anzahl von Trainingsbeispielen gibt. Die Anforderungen, die an das maschinelle Lernen gestellt werden müssen, lassen sich nach diesen Vorbetrachtungen nun zumindest in groben Zügen überblicken: Um Muster zu erkennen, bedarf es zunächst einer gewissen Anzahl von Trainings-

beispielen. Anhand dieser Daten wird dann ein Modell erlernt, wobei Einfachheit und Fehlerquote (Performanz) gegeneinander abgewogen werden. Nun lässt sich das Modell auf neue, bisher nicht beobachtete Beispiele anwenden, und es zeigt sich, wie gut ein Modell das zuvor erlernte Muster in neuen Daten erkennen kann. Damit lässt sich die Güte des Modells objektiv evaluieren.

Grenzen der Mustererkennung

An dieser Stelle lohnt es, die Grenzen der Mustererkennung zu diskutieren. Je komplexer beispielsweise ein Muster ist, desto schwerer ist es zu erlernen und desto größer ist der Trainingsdatensatz, der hierfür erforderlich ist: Ein Laternenpfahl etwa lässt sich leichter repräsentieren als ein sich bewegender menschlicher Körper – dies liegt an der sogenannten Intra-Klassenvariabilität. Aber auch auf die „Interklassenähnlichkeit“ kommt es an: In einem leeren Raum ist ein Mensch einfacher zu detektieren als in einem Raum, in dem sich noch Gegenstände oder gar eine Menge Schimpansen befinden. Wenn dann womöglich auch noch schlechte Lichtverhältnisse hinzukommen, wird es schwierig, das visuelle Signal, das uns interessiert – den einzelnen Menschen –, von dem uninteressanten Hintergrundrauschen – weiteren Objekten im Raum – zu unterscheiden. Einen Menschen unter diesen Bedingungen maschinell erkennen zu wollen, ist vergleichbar mit dem Versuch, eine Stimme oder eine Melodie aus einer Symphonie herauszuhören, deren Thema ständig variiert. Struktur und Chaos stehen bei der Wahrnehmung gewissermaßen im Wettstreit miteinander, so dass wir kaum in der Lage sind, ordnende Strukturen zu identifizieren.

„Aus einmal erkannten Mustern lassen sich konstruktive Regeln ableiten, mit denen auf Vergangenes rückgeschlossen und Künftiges vorhergesagt werden kann.“

Intra- und Interklassenvariabilität, Signal und Rauschen – die grundsätzliche Frage ist, in welchem Verhältnis Chaos und Struktur zueinander stehen. Je regulärer und strukturierter ein Muster ist, desto weniger Trainingsbeispiele werden benötigt, um das Muster zu erlernen. Umgekehrt gilt: Je chaotischer die Welt ist, desto komplexer ist das Erkennungsproblem – und desto größer ist der erforderliche Trainingsdatensatz.

Die menschliche Wahrnehmung als Vorbild

Wir verfolgen in der Heidelberger Arbeitsgruppe „Computer Vision“ einen Ansatz, der wesentliche Eigenschaften der

HCI: Denkfabrik für die Bildverarbeitung

Das Heidelberg Collaboratory for Image Processing (HCI) gilt als "Denkfabrik" für die Bildverarbeitung und ist eines der größten Zentren seiner Art in Deutschland. Im Jahr 2008 wurde es innerhalb der Universität Heidelberg als "Industry on Campus"-Projekt eingerichtet; beteiligt sind neben der Robert Bosch GmbH die Sony Corporation, die Carl Zeiss AG, Heidelberg Engineering, Silicon Software und die PCO AG. Ziel der interdisziplinär ausgerichteten Forschungseinrichtung ist es, lang anstehende, schwierige Probleme der Bildverarbeitung zu lösen und sie anschließend mit den beteiligten Firmen sowie weiteren Kooperationspartnern in Applikationen zu überführen.

Das HCI besteht aus den vier Lehrstühlen für Bildverarbeitung der Universität sowie einer assoziierten Forschungsgruppe. Rund achtzig Mitarbeiter arbeiten an der Forschungseinrichtung – darunter zahlreiche Postdoktoranden, die über die Exzellenzinitiative und die beteiligten Industriepartner gemeinsam finanziert werden. Professor Dr. Björn Ommer forscht und lehrt seit dem Jahr 2009 am HCI und leitet dort die Arbeitsgruppe „Computer Vision“.

hci.iwr.uni-heidelberg.de

menschlichen Wahrnehmung übernimmt. Das menschliche Auge etwa erfasst durch die Pupille – eine nur wenige Millimeter kleine Öffnung – unvorstellbar große Mengen an Daten. Sie entsprechen dem Volumen von mehr als einer halben DVD pro Sekunde. Die erfassten Informationen sind hochgradig redundant: Relevante Muster drohen in der Flut unterzugehen. Aus diesem Grund werden die Informationen schon früh im visuellen Cortex um einen Faktor von etwa 10.000 reduziert. Die Herausforderung besteht darin, die Flut unterschiedlicher Stimuli, die über unser Auge in das Gehirn einströmt, zu komplexen Objekten zu verbinden. Dieses sogenannte Bindungsproblem ist eines der zentralen Probleme der Mustererkennung – der Schlüssel, um es angehen zu können, heißt „Emergenz“.

Was ist damit gemeint? Unter Emergenz versteht man die Fähigkeit eines Systems, durch das Zusammenspiel vieler Elemente neue Strukturen herauszubilden. Eine Farbe etwa lässt sich lokal wahrnehmen. Die Form eines Objekts hingegen können wir erst durch die Betrachtung des Ganzen erkennen – sie ist eine emergente Eigenschaft. Nehmen wir zum Beispiel einen Vogelschwarm, der am Himmel die Form eines Dreiecks bildet. Unsere Augen werden immer nur die einzelnen Vögel beobachten: Kein einzelnes Tier zeigt die Charakteristika eines Dreiecks.

Dennoch wird im Ensemble diese Struktur sichtbar – das Ganze ist also mehr als die Summe seiner Teile.

„Was dem menschlichen Gehirn selbstverständlich gelingt, ist für die künstliche Intelligenz eine große Herausforderung.“

Es existiert demnach eine große semantische Lücke zwischen dem, was die Sinneszellen des Auges lokal wahrnehmen, und dem Muster, das im Gehirn entsteht. Im Sinne des Psychologen Max Wertheimer gesprochen, eines Mitbegründers der Gestalttheorie: Wir stehen am Fenster und unsere Augen sehen nichts anderes als lokale Helligkeitsunterschiede oder Farben – dennoch erkennen wir schlussendlich Objekte, etwa Häuser, Bäume oder Menschen. Dieses Gruppieren zu Wahrnehmungsergebnissen, sogenannten Perzepten, ist essentiell, um Muster zu identifizieren: Wenig informative Entitäten werden zu einem größeren Ganzen, beispielsweise dem bekannten Objekt „Baum“, aggregiert. Die Redundanz verschiedener Objektkategorien (Autos, Fahrrädern und Motorrädern) ist gemeinsam, dass sie alle Räder besitzen) kann zu dieser Aggregation ebenso genutzt werden wie Redundanzen innerhalb einer Kategorie (beispielsweise die Symmetrie).

Das Ziel: Computern das Sehen beibringen

Das Ziel unserer Forschungsarbeiten ist es, Computern das Sehen beizubringen. Dazu müssen Computer Muster erlernen, Objekte erkennen und Bilder interpretieren. Wir haben Algorithmen entwickelt, mit denen Rechner in die Lage versetzt werden, anhand eines kleinen Satzes von Trainingsbildern viele Punkte eines Bildes zu bedeutungstragenden Kompositionen – zu Perzepten – zu gruppieren. Darüber hinaus lernt der Computer, Charakteristika zu erkennen, die ihm dabei helfen, bestimmte Objektkategorien von anderen Objektkategorien zu unterscheiden – selbst dann, wenn die Kategorien in sich sehr variabel sind. Das Gruppieren und das Erkennen von Objekten sind unmittelbar miteinander verzahnt: Die bedeutungstragenden Bestandteile von Objekten können so aus dem Hintergrund gelöst und gruppiert werden – erst dadurch werden sie erkennbar.

Unser „kompositioneller Ansatz“ reduziert die Komplexität also in geeigneter Weise und macht es den Computern möglich, Modelle zu erlernen. Denn Kompositionalität ist für die Wahrnehmung des Menschen ebenso bedeutend wie für die Informationsverarbeitung durch Maschinen. Veranschaulichen lässt sich dies mit unserem Alphabet,



Muster verkraften Fehlstellen. Bei der Rekonstruktion von gelernten Mustern konzentrieren wir uns daher zuerst auf die relevantesten Aspekte, bevor wir sukzessive mehr Details ergänzen.



PROF. DR. BJÖRN OMMER leitet seit dem Jahr 2009 die Arbeitsgruppe „Computer Vision“, die am Heidelberg Collaboratory for Image Processing (HCI) und am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen der Universität Heidelberg angesiedelt ist. Sein Studium der Informatik und Physik schloss er 2003 an der Universität Bonn ab; 2007 wurde er von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich in Informatik promoviert. Anschließend forschte er zunächst in Zürich, später an der University of California, Berkeley. Der Schwerpunkt seiner Arbeit ist die Frage, wie Objekte und Handlungen in statischen und bewegten Bildern automatisch erkannt werden können. Seine Erkenntnisse bringt er in Heidelberg bei interdisziplinären Gemeinschaftsprojekten mit Kulturwissenschaftlern und Biomedizinern zur Anwendung.

Kontakt: ommer@uni-heidelberg.de

THE GRAMMAR OF PATTERNS

FROM CHAOS TO IMAGE

BJÖRN OMMER

The human eye can only differentiate between differences in brightness and various colours. It is our brain that turns these perceptions into objects such as a house, a tree or a person. The brain learns the patterns it needs to create these objects. Is it possible to teach computers the same ability to filter ordered structures out of a complex environment, i.e. to see like a person? The difficulty of pattern recognition and learning depends on the complexity of the observed structures and the presence of distracting clutter: recognition becomes more complicated the more variable the patterns of interest are and the more they resemble other, non-relevant patterns. One could therefore say that pattern recognition is the struggle to find order in chaos.

To tackle this problem effectively, it is crucial to efficiently utilise the regularity of our world. Inspired by human perception, we are following an approach that takes advantage of the redundancy of the visual stimulus to robustly learn visual patterns such as objects and their behaviour. Complex structures are typically emergent phenomena that cannot be detected locally. Consequently, there is a large semantic gap between local observations and the overall pattern: the whole is different from the sum of its parts.

We have therefore proposed a compositional approach that assembles individual percepts into meaningful compositions while learning the overall pattern. The resulting compositional dictionary can then be shared by various patterns. Atoms of the dictionary have generic applicability, much like the letters of our alphabet can form words and sentences to represent diverse content. Key to the representational power of this approach is the ability to learn relations between these generic constituents that serve as the compositional grammar of a pattern. ●

PROF. DR. BJÖRN OMMER has been heading the “Computer Vision” work group at the Heidelberg Collaboratory for Image Processing (HCI) and the Interdisciplinary Center for Scientific Computing (IWR) at Heidelberg University since 2009. He graduated from Bonn University in 2003 with a degree in computer science and physics and earned his PhD at the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich in 2007. He went on to work as a researcher at ETH, then at the University of California, Berkeley. His work focuses on the question how objects and actions can be recognised automatically in static and moving images. Björn Ommer applies his findings in interdisciplinary projects with Heidelberg cultural scientists and biomedical researchers.

Contact: ommer@
uni-heidelberg.de

“What comes naturally to the human brain is a monumental challenge for artificial intelligence: extrapolating a single abstract model from a multitude of patterns.”

das nur aus 26 Buchstaben besteht. Dennoch können wir mit ihm aufgrund von Kompositionen – Wörtern und Sätzen – alles Erdenkliche ausdrücken. Der Kern unseres kompositionellen Ansatzes ist, dass die charakteristischen Beziehungen zwischen elementaren Bestandteilen erlernt werden. Es handelt sich dabei gewissermaßen um eine Grammatik, die vorgibt, wie aus der spezifischen Gruppierung einzelner Elemente Struktur entsteht. Das kompositionelle Gruppieren zerfällt dabei in zwei Teile: einerseits einen ausschließlich bildgetriebenen („bottom-up“) Ansatz, bei dem allgemein geltende Gruppierungsregeln aus der Gestalttheorie angewendet werden, die visuelle Informationen zu einer einheitlichen und kohärenten Wahrnehmung zusammenführen; andererseits einen durch Lernen bestimmten Ansatz („top-down“), der Informationen gruppiert, die in anderen Bildern häufig in einer gewissen räumlichen Konstellation beobachtet worden sind. Kompositionen stellen damit einen gangbaren Mittelweg zwischen zwei Extremen dar: dem Repräsentieren des Objekts als Ganzes, das an der großen Variabilität und der Flut von Informationen scheitert, sowie der unabhängigen Beschreibung einzelner Objektbestandteile, bei der das große Ganze vernachlässigt wird.

Fassen wir zusammen: Das Erkennen von Struktur in einer vordergründig chaotischen Welt ist ein herausforderndes inverses Problem. Um dennoch komplexe Muster erlernen zu können, bedarf es eines Ansatzes, der die in unserer Welt nichtsdestotrotz vorhandene Regularität effektiv nutzt. Die von uns untersuchte Kompositionalität ist ein wesentlicher Schritt auf dem Weg, die große semantische Lücke zwischen Wahrnehmung und Musterbildung zu schließen. Das Ziel, visuelle Informationen automatisch inhaltsbasiert zu erschließen – Maschinen also das Sehen beizubringen –, bleibt dennoch auch künftig eine große Herausforderung. ●

**MO
LE
KU
LA
RE**

ÄSTHETIK

MOLEKULARE ÄSTHETIK

CHEMIE ODER DIE LIEBE ZUR GEOMETRIE

PETER COMBA

Moleküle sind Kunstwerke. Dort, wo man sie strukturell fassen kann, sind sie wie Skulpturen. Wie in der Architektur folgt ihre Funktionalität der Form und der zugrunde liegenden Konstruktion. Starr, so wie wir Moleküle in Strukturformeln zeichnen, sind sie nie. Es gibt sogar Moleküle, bei denen es wie bei Amöben kaum gerechtfertigt ist, von Struktur im eigentlichen Sinne zu sprechen. In der Form und Dynamik der Moleküle liegt ihre Funktion verborgen. Die Formelsprache, die Sprache der Modelle, bringt Ordnung in die Welt der Chemie und hilft uns, diese Zusammenhänge zu verstehen.

N

Nach einer anstrengenden und aufregenden Woche in meinem ersten Forschungspraktikum – anorganische Chemie, sechstes Semester – unterhielt ich mich am Wochenende während der Fahrt im Zug zurück nach Hause mit einem ehemaligen Mitschüler, einem Maschinenbaustudenten. Ich berichtete ihm, warum mich mein Praktikum, das Studium der Chemie insgesamt so fasziniert. Gerade hatte ich zwei neue Verbindungen synthetisiert, zwei Kobaltkomplexe, rot der eine, violett der andere, je 100 oder 200 Milligramm, rein und eindeutig charakterisiert, in kleine Fläschchen abgefüllt – meine ersten neuen Verbindungen, Materialien, die die Welt vorher nicht kannte.

Synthetisch arbeitende Chemiker machen das immer wieder: Es ist unsere tägliche Arbeit, neue Verbindungen, Materialien, Wirkstoffe zu erfinden, herzustellen und zu untersuchen. Es gibt keine Wissenschaft außer der Chemie, in der dies so konsequent geschieht. Wenn ein Biologe Gene verändert und daraufhin andere Proteine entstehen – auch veränderte Gene und Proteine sind neue Moleküle –, ist das Chemie an biologischen Systemen, Molekularbiologie also. Und wenn Physiker neue Materialien produzieren und untersuchen, ist die Herstellung der chemische Teil ihrer Projekte.

Synthetische Chemiker sind Erfinder, Handwerker und Produzenten neuer Stoffe. Erfolgreich sind sie dann, wenn sie sich die richtigen Fragen stellen und wenn sie Verbindungen planen, erfinden und mit handwerklichem

„Bindungen sind räumlich gerichtet, jeder Verknüpfungspunkt ist ein Konstruktionselement für die Architektur des Moleküls. Daraus ergibt sich die Geometrie von Verbindungen.“

Geschick produzieren, die Wissenschaft und Gesellschaft weiterbringen. Dafür von größter Bedeutung ist die Struktur, die Geometrie und Form der Moleküle. Ebenso wichtig sind Beziehungen zwischen Struktur und molekularen Eigenschaften, zwischen Form und Funktion. Nur mit der richtig gewählten und der richtig konstruierten Struktur wird die Substanz die gewünschten Eigenschaften erhalten. Mein Mitschüler konnte meine Begeisterung für die Chemie spüren. Für ihn war aber die Chemie in der Schule ein Buch mit sieben Siegeln, und so war es zu einem großen Teil geblieben. Vielen Menschen, mit denen ich mich über meine Arbeit unterhalte, geht es ebenso.

Die Sprache der Chemie

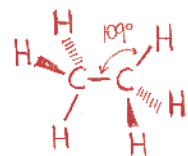
Meist hat dies damit zu tun, dass die Sprache der Chemie nicht verstanden wird. Wie kann ich etwas durchdringen, Fragen stellen und Antworten suchen, wenn mir die Sprache dazu fehlt? Eine wichtige Grundlage der chemischen Sprache sind Strukturformeln von Molekülen: Zwei Kohlenstoffatome, die ein Strich miteinander verbindet (Einfachbindung), tragen jeweils drei Wasserstoffatome; doppelgebundene Kohlenstoffatome haben je zwei und dreifachgebundene Kohlenstoffatome je ein zusätzliches Wasserstoffatom, das sie an sich binden - von einem Kohlenstoffatom gehen immer vier Striche aus. Bei Dreifachbindungen ist jeder Wasserstoff in einem Winkel von 180 Grad an die $C \equiv C$ Einheit gebunden, bei Doppel-

„Nur mit der richtig gewählten und der richtig konstruierten Struktur wird die Substanz die gewünschten Eigenschaften erhalten.“

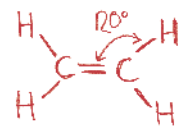
bindungen beträgt der Winkel zwischen dem $C = C$ Fragment und jedem Wasserstoff 120 Grad, bei Einfachbindungen sind die $H - C - C$ Winkel 109 Grad.

Bindungen sind räumlich gerichtet, jeder Verknüpfungspunkt ist ein Konstruktionselement für die Architektur des Moleküls. Daraus ergibt sich die Geometrie, die dreidimensionale Struktur von Verbindungen. Das ist ein wichtiger Teil der Grammatik unserer chemischen Sprache. Wenn eines der beiden Kohlenstoffzentren durch Stickstoff, Sauerstoff oder Chlor ersetzt wird, gibt es an diesem Zentrum ein, zwei oder drei Wasserstoffatome weniger - von Stickstoff gehen drei Bindungen (Striche) aus, von Sauerstoff zwei und von Chlor eine. Man kann dann die zwei Atome (beispielsweise Kohlenstoff und Chlor) nicht mehr drei- oder zweifach, sondern nur noch einfach aneinander binden. Die Art der möglichen Zusammensetzungen, der möglichen Strukturen und der daraus resultierenden

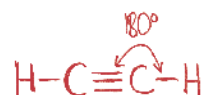
C-C Einfachbindung
Ethan



C=C Doppelbindung
Ethen

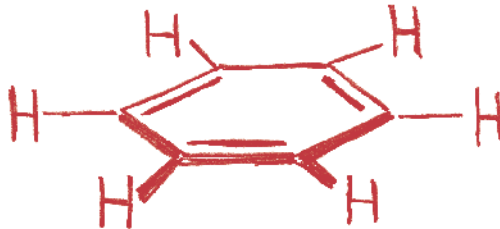


C≡C Dreifachbindung
Ethin bzw. Acetylen

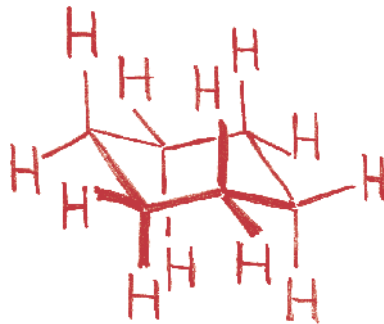


Eigenschaften ist also eingeschränkt. Sie hängt von der Atomsorte ab – und davon gibt es im Periodensystem 115. Der russische Chemiker Dmitri Mendelejew, der 1859 bei dem deutschen Physiker Gustav Kirchhoff in Heidelberg Spektroskopie betrieb, beschäftigte sich mit der Periodizität der Elemente. Auch dies ist ein wichtiger Teil der Sprache der Chemie. Wenn man die chemische Sprache erlernt, lernt man die Konzepte mit. Die Konzepte muss man verstehen: Sie bringen Ordnung in die Welt der Chemie.

Benzol Ecken sind C-Atome



Cyclohexan Ecken sind C-Atome



Bilder auf der Basis von Konzepten

Schwierig an den Konzepten der Chemie ist, dass ich das, was ich mit Strukturformeln darstelle, nicht mit meinen Augen sehen kann. Atome, Moleküle und Molekülstrukturen sind nur Bilder auf der Basis von Konzepten, es sind Geschichten, erzählt mit der Sprache der Chemie: Ein flaches, hochsymmetrisches Sechseck steht für Benzol mit je einem Wasserstoff pro Kohlenstoff, und ein sesselförmig gefaltetes Sechseck repräsentiert Cyclohexan mit je zwei Wasserstoffen pro Kohlenstoff – beides sind zyklische Moleküle mit sechs Kohlenstoffatomen, aber ganz unterschiedlichen Eigenschaften.

In der chemischen Sprache, bei chemischen Konzepten und Modellen steht die Struktur im Zentrum: Alle Eigenschaften molekularer Systeme sind abhängig von der Struktur, der Geometrie, der Form der Moleküle. Farben, Reaktivitäten,

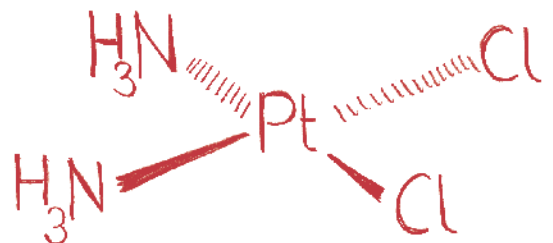
Stabilitäten – alles, was uns an Materialien und Wirkstoffen interessiert wird davon bestimmt. Die Struktur aber, die ich mit der Sprache der Chemie beschreibe, die Struktur und die Sprache, die auf wichtigen Konzepten, Modellen, Theorien beruhen – der Periodizität der Elemente, der Quantenmechanik –, genau diese Struktur kann ich nicht sehen. Ganz abgesehen davon, dass Struktur auf der Basis der Quantenchemie nur durch eine Näherung von Born und Oppenheimer (BO Approximation) definiert ist: Stationäre Punkte auf der Born-Oppenheimer-Hyperfläche (vieldimensionale Fläche) entsprechen Strukturen molekularer Systeme mit einer spezifischen Stabilität.

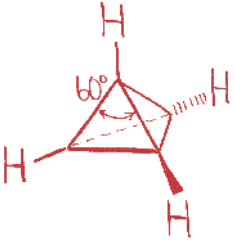
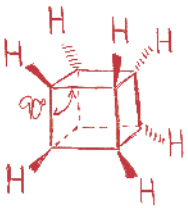
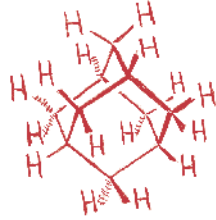
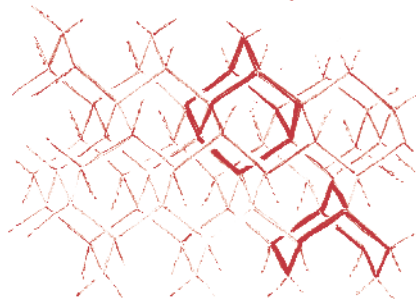
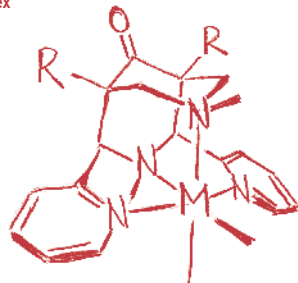
All das macht es Laien schwer, die Sprache der Chemie zu verstehen. Ein minimaler Wortschatz aber ist notwendig, um Konzepte und Modelle, neue Ergebnisse und deren Bedeutung für Wissenschaft und Gesellschaft nachzuvollziehen oder die Schönheit der Chemie zu empfinden – genauso, wie ich nur mit einem zumindest minimalen französischen Wortschatz die Chance habe, das Wesen der Camargue und ihrer Bewohner zu erleben und zu begreifen. Wie hätte sich die Chemie wohl entwickelt, wenn die Väter unserer Wissenschaft, aufbauend auf einem anderen Konzept als dem Strukturkonzept von Lewis, eine ganz andere Sprache entwickelt, dem ursprünglichen Chaos eine andere Ordnung, der Chemie damit eine andere Basis gegeben hätten?

Die Form bestimmt die Funktion

Eigenschaften sind mit Strukturen korreliert: Stabilitäten, Reaktivitäten, Selektivitäten, elektrochemische, elektronische und spektroskopische Eigenschaften ergeben sich aus der Struktur. Betrachten wir als Beispiel Cisplatin, eine quadratisch planare Platin(II)-Verbindung mit je zwei Chloridionen und zwei Ammoniakmolekülen, die in cis-Geometrie an Platin gebunden sind. „Cis“ bedeutet benachbart, im Gegensatz zu „trans“, gegenüber. Mit nur elf Atomen ist Cisplatin eine sehr einfache Verbindung. Der amerikanische Wissenschaftler Barnett Rosenberg hat vor fast 50 Jahren die zytostatische Wirkung dieser Verbindung entdeckt; Cisplatin ist auch heute noch einer der wichtigsten Wirkstoffe der Krebstherapie.

Cisplatin



Tetrahedran Ecken sind C-Atome**Cuban** Ecken sind C-Atome**Helvetan** Ecken sind C-Atome, an jedes dieser C-Atome ist noch ein H-Atom gebunden**Israelan** Ecken sind C-Atome, an jedes dieser C-Atome ist noch ein H-Atom gebunden**Adamantan****Diamantenstruktur****Bispidin****Bispidin-Metallkomplex**

Die cis-Anordnung der Ammoniakliganden ist für die Wirkung als Krebsmedikament wichtig, die zwei an das Metallzentrum gebundenen Chloridionen sind es ebenso – die Struktur insgesamt entscheidet über die Funktion von Cisplatin. Die an Platin gebundenen Chloridionen erlauben einen effizienten Transport durch die Zellmembran. Im Innern der Krebszelle wird die Verbindung hydrolysiert – die Chloride werden durch Wasser (H_2O) und Hydroxid (OH^-) ersetzt. Dies erlaubt eine Bindung an das Erbmolekül DNA. Hierbei spielen auch die beiden cis-ständigen Ammoniakliganden eine Rolle. Schlussendlich ist es die von Cisplatin erzwungene strukturelle Veränderung der DNA, die für das Absterben der Krebszelle verantwortlich ist. Die entsprechende trans-Verbindung ist an entscheidenden Stellen des Wirkmechanismus viel weniger effizient: So wichtig ist die molekulare Struktur einer Verbindung für ihre Funktion.

Struktur und Stabilität

Wie ästhetisch und funktional vielfältig chemische Strukturen sein können, sieht man an den „Käfigverbindungen“ der Kohlenwasserstoffe: Wie bei einem Vogelkäfig umschließt das Kohlenwasserstoffgerüst bei Käfigverbindungen einen strukturierten Innenraum. Tetrahedran (C_4H_4) und Cuban (C_8H_8) gehören als platonische Körper zu den Klassikern. Attraktiv und aufregend ist auch das Paar Helvetan und Israelan: Beide haben die gleiche Zusammensetzung ($\text{C}_{24}\text{H}_{24}$), sie sind also zueinander isomer und stellen unterschiedliche Minima auf der gleichen Energiehyperfläche dar. Der Organiker Albert Eschenmoser hat die Stabilität der beiden Verbindungen untersucht und ist zum Schluss gekommen, dass Helvetan stabiler ist.

Die Käfigverbindung Adamantan ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$) entspricht einem Ausschnitt des Diamantgitters und ist viel stabiler als Tetrahedran, Cuban, Helvetan und Israelan: Um jedes Kohlenstoffatom besitzt es den für Einfachbindungen idealen Winkel von 109 Grad – ein gutes Beispiel dafür, wie die Struktur die Stabilität einer Verbindung bestimmt.

Abkömmlinge des Kohlenwasserstoffs Adamantan sind die Bispidine: Sie stellen Metallionen zwei Amine (Stickstoffdonoren) und je nach Verbindung noch weitere Atome zur Komplexbildung zur Verfügung. Eine wichtige Eigenschaft von Adamantan und Diamant haben auch die Bispidine: Sie sind äußerst stabil und starr und zwingen den Metallzentren ihre Struktur gleichsam mit eiserner Faust auf. Von den Metallzentren geht bei derartigen Verbindungen zwischen Metallionen und organischen Molekülen (Liganden) die Reaktivität aus. Mit Liganden wie den Bispidinen kann man die Struktur um die Metallzentren modulieren und damit die Eigenschaften, Reaktivitäten, Stabilitäten, Selektivitäten der entstehenden Verbindung nach Wunsch beeinflussen. Auch an diesem Beispiel zeigt sich: Struktur bewirkt Funktion.

CHEMISTRY OR THE LOVE OF GEOMETRY

MOLECULAR AESTHETICS

PETER COMBA

Molecules are works of art. Whenever we catch a glimpse of their structure, they seem like sculptures to our eye. As in architecture, their properties – colours, reactivity, stability – follow their shape and underlying construction. They are never as rigid as we draw them in structural formulas. There are even molecules that, much like amoebas, have no structure in the stricter sense. A molecule's function is determined by its shape and dynamics. The language of formulas and models brings order to the world of chemistry and helps us understand these relationships.

No wonder, then, that the concept of molecular structure is of fundamental importance in chemistry and forms the basis of the chemical language. The difficult part in learning this language is that molecular structure, for instance the position of the molecules' constituents, the atoms, is not visible to the human eye. It is a language based on concepts and models that we need to know in order to appreciate the importance and beauty of chemistry and the relevance of recent discoveries for science and society.

A major part of this essay deals with the relation between structure and stability of simple organic molecules, such as the carbohydrate cages tetrahedrane, cubane, helvetane and israelane, which are severely strained, in contrast to the diamond structure derived adamantane. It is shown that bispidines are derived from this very rigid diamond structure and hence exhibit interesting properties when bound to metal ions: they are able to impose specific structures on the ions, allowing us to design specific properties into these metal-based compounds. The flexibility of molecular structures is also of importance, as evidenced by the copper chemistry of natural cyclic peptide molecules that are found in ascidians in the Pacific and the Indian Ocean: these copper compounds are very efficient carbonic anhydrase catalysts and may help the ascidians to transport and activate CO_2 for photosynthesis. ●

“As equal parts architects and craftsmen, chemists build the structure of a compound and thereby determine its function.”

PROF. DR. PETER COMBA has been teaching and conducting research at Heidelberg University's Department of Inorganic Chemistry since 1992. He is the Director of the International Science Forum (IWH) and serves on the Directorate of the Interdisciplinary Center for Scientific Computing (IWR) of Heidelberg University. Born in Switzerland, Prof. Comba has worked as a researcher at the Australian National University in Canberra, the University of Lausanne and the University of Basel. He was a guest scientist at the University of Tasmania, the Australian National University and the University of Queensland in Australia, the University of Pretoria and the University of Osaka. Peter Comba's particular research interest lies in transition metal compounds. Application areas of his research include catalysis, molecular magnetism, and biological and medicinal chemistry.

Contact: peter.comba@aci.uni-heidelberg.de

Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts: das Wissenschaftliche Rechnen

Das Interdisziplinäre Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) wurde im Jahr 1987 als das bundesweit erste universitäre Forschungszentrum seiner Art gegründet. Die Forscher am IWR befassen sich mit Fragestellungen aus Natur-, Technik- und Geisteswissenschaften und bearbeiten sie mit dem Methodenrepertoire des Wissenschaftlichen Rechnens: der mathematischen Modellierung, Simulation und Optimierung, der Bild- und Datenverarbeitung sowie der Visualisierung. Als Querschnittsdisziplin trägt das Wissenschaftliche Rechnen entscheidend zur Lösung anspruchsvoller Probleme aus Wissenschaft und Technik bei und gilt damit als eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Seine Methoden kommen bei so unterschiedlichen Fragestellungen zum Einsatz wie dem Entwurf effizienter Brennstoffzellen, dem Design neuer Wirkstoffe, der Prognose des Pestizidabbaus im Boden oder etwa der Rekonstruktion antiker Papyrusfragmente.

Das IWR umfasst heute mehr als vierzig Forschungsteams aus den unterschiedlichsten Fakultäten sowie zahlreiche von jungen Wissenschaftlern geführte Nachwuchsgruppen. Rund sechshundert Forscherinnen und Forscher arbeiten im Rahmen des Zentrums in interdisziplinären Kooperationen zusammen. Neben Mathematik, Physik, Chemie und Informatik sowie den Lebenswissenschaften sind hier zunehmend auch die Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, die Psychologie, die Kognitionswissenschaften sowie die Geistes- und Kulturwissenschaften vertreten. Die Infrastruktur des IWR, auf die die Forscher zurückgreifen können, umfasst unter anderem Hochleistungsrechner, 3D-Graphiklabore sowie spezielle Laser-Scanner. Auf Initiative des IWR entstand 2007 die „Heidelberger Graduiertenschule der mathematischen und computergestützten Methoden in den Wissenschaften“ (HGS MathComp), die in der Exzellenzinitiative gefördert wird. Hier forschen derzeit gut 150 Doktoranden aus allen am Zentrum vertretenen Fächern.

www.iwr.uni-heidelberg.de

Schwerpunkt der Heidelberger Forschung

Gleichermaßen Architekt und Handwerker, plant und baut der Chemiker die Struktur einer Verbindung und bestimmt dadurch ihre Funktion. Unsere Arbeitsgruppe in Heidelberg ist vor allem an der Chemie der Übergangsmetallverbindungen interessiert. Das chemische Spiel, das wir betreiben, ist immer das gleiche: Wir „quetschen“ das

Metallzentrum mit den Liganden in einer Verbindung so, dass sie die gewünschte Eigenschaft entwickelt. Damit waren wir in den letzten Jahren vor allem mit Bispidinen als Liganden erfolgreich. Mittlerweile gibt es über fünfzig Variationen von Bispidinen, die in der Koordinationschemie eingesetzt werden; im Bereich der Eisenchemie gibt es eine Reihe von Patenten für die katalytische Bleichung und das katalytische Aushärten von Farben; zur Krebsdiagnose werden derzeit Methoden entwickelt, die radioaktive Kupfer(II)bispidine nutzen, um Tumoren besser abzubilden; auch im Bereich des molekularen Magnetismus gibt es grundlegende Arbeiten, für die Bispidine wichtig sind.

„Gleichermaßen Architekt und Handwerker, plant und baut der Chemiker die Struktur einer Verbindung und bestimmt dadurch ihre Funktion.“

Ein Beispiel für den erfolgreichen Einsatz von Bispidinen ist die katalytische Aziridinierung mit Kupfer(II)bispidinen. Aziridine sind dreieckige Ringverbindungen mit einem Stickstoffatom und zwei Kohlenstoffatomen. Sie werden genutzt, um medizinische Wirkstoffe zu synthetisieren. Es zeigt sich nun Folgendes: Wenn an den zwei Pyridinringen der vierzähligen Bispidinliganden je ein Wasserstoffatom durch eine Methylgruppe (-CH₃) ausgetauscht wird, verändert sich die Struktur, und das Cu^{II/I}-Redoxpotenzial verschiebt sich um mehr als 300 Millivolt. Dies macht einen zuvor lausigen zu einem sehr effizienten Katalysator: Struktur bewirkt Funktion.

Die Geheimnisse der Manteltiere

Auf den Korallenriffen des Pazifiks und des Indischen Ozeans leben interessante Tiere, sogenannte Manteltiere oder Tunicata. Sie produzieren ringförmige Eiweißverbindungen (Peptide), deren biologische Funktion bis heute nicht bekannt ist. Das Einzige, was wir derzeit sicher wissen, ist, dass die zyklischen organischen Naturprodukte mit zwei Kupfer(II)ionen recht stabile Verbindungen ausbilden. Die Struktur und Dynamik dieser Verbindungen fasziniert uns seit Jahren: Wir untersuchen natürliche und synthetische zyklische Peptide und ihre Kupfer(II)komplexe in Lösung mit verschiedenen spektroskopischen Methoden sowie quantenchemischen und molekülmechanischen Berechnungen. Dabei haben wir gelernt, dass die Struktur der Verbindungen flexibel ist und dass sie möglicherweise als spezielle Enzyme, als „Carboanhydrasen“, wirken.

Carboanhydrasen – bislang sind nur Zink(II)-haltige Carboanhydrasen bekannt – sind sehr wichtige und effiziente



PROF. DR. PETER COMBA forscht und lehrt seit 1992 am Anorganisch-Chemischen Institut der Universität Heidelberg. Zudem ist er Direktor des Internationalen Wissenschaftsforums (IWH) und Direktoriumsmitglied des Interdisziplinären Zentrums für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) der Universität Heidelberg. Seine wissenschaftliche Laufbahn führte den gebürtigen Schweizer an die Australian National University in Canberra, die Universität de Lausanne und die Universität Basel. Als Gastwissenschaftler war er darüber hinaus an der University of Tasmania, der Australian National University und der University of Queensland in Australien, der University of Pretoria sowie der University of Osaka tätig. Das besondere Interesse von Peter Comba gilt den Übergangsmetallverbindungen. Die Anwendungsgebiete seiner Forschung umfassen Theorie, Spektroskopie, Katalyse, molekularen Magnetismus, biologische und medizinische Chemie.

Kontakt: peter.comba@aci.uni-heidelberg.de

„Das Wissen um den Zusammenhang von Struktur und Funktion ist die Grundlage vielversprechender Bereiche der Chemie.“

Metalloenzyme. Sie helfen, den natürlichen Kohlenstoffdioxid-Kreislauf zu regeln. Dies geschieht, indem sie Kohlenstoffdioxid (CO_2) in die leicht zu transportierende Kohlensäure (HCO_3^-) umwandeln (Hydratisierung). Damit spielen Carboanhydrasen sowohl bei der Photosynthese der Pflanzen als auch bei unserer Atmung eine zentrale Rolle: CO_2 aus der Luft muss im Pflanzenkörper leicht dorthin transportiert werden können, wo es während der Photosynthese enzymatisch in Kohlenhydrate umgewandelt wird; als Produkt von Verbrennungsprozessen im menschlichen Körper muss CO_2 als Abfallstoff umgehend in die Lunge gelangen. Die unkatalysierte Hydratisierung von CO_2 ist mit circa 10^{-2} s^{-1} sehr langsam. Sie wird durch die natürliche Carboanhydrase etwa zehnmillionenfach beschleunigt. Die mit Kupfer(II)verbindungen der zyklischen Peptide gemessene Geschwindigkeit beträgt immerhin bis zu 10^4 s^{-1} – schneller als mit allen anderen bekannten künstlichen Carboanhydrasen.

Ob die zyklischen Peptide der Manteltiere tatsächlich als Kupfer(II)komplexe vorliegen und Carboanhydrase-Funktion übernehmen, wissen wir noch nicht. Fraglich ist auch, ob man unsere Beobachtungen technisch auswerten kann – beispielsweise um das Treibhausgas CO_2

abzufangen. Über beide Fragen nachzudenken lohnt sich – auch über die Beobachtung, dass nicht die Rigidität der Strukturen (wie bei den Bispindinen), sondern die Flexibilität für die Funktion bedeutend ist. In beiden Fällen ist es der organische Ligand, der es vermag, an Metallionen zu binden, die geometrische Form, Flexibilität oder Rigidität zu erzwingen und damit die gewünschten Eigenschaften gezielt zu modulieren. Die Struktur und Dynamik von Verbindungen zu planen, den Zusammenhang von Struktur und Funktion zu verstehen und das Handwerk zu beherrschen, mit dem dieses Wissen umgesetzt und zur Anwendung gebracht werden kann, ist die Grundlage vielversprechender Bereiche der Chemie. ●

WARUM IST QUECKSILBER BEI RAUMTEMPERATUR FLÜSSIG?

DAS GEHEIMNIS DES QUECKSILBERS

Metalle zeichnen sich üblicherweise durch eine regelmäßige geordnete Gitterstruktur aus. Ihnen muss viel Wärme zugefügt werden, bis diese Struktur zerfällt und sie flüssig werden. Der Schmelzpunkt von Zink etwa liegt bei knapp 420 Grad Celsius, der von Gold bei 1.337 und der von Wolfram sogar bei 3.695 Grad Celsius. Warum aber ist Quecksilber als einziges Metall bei Raumtemperatur flüssig? Auf diese Frage wussten Wissenschaftler viele Jahre keine eindeutige Antwort. Nun hat ein internationales Forscherteam unter Beteiligung von Wissenschaftlern der Universität Heidelberg das „Geheimnis“ des Quecksilbers mit Hilfe von Computerexperimenten gelöst.

(red) „Quecksilber stellt mit seinen Eigenschaften die theoretische Chemie seit langem vor viele Rätsel. Es ähnelt in seinem Verhalten häufig eher einem Edelgas als einem Metall“, erklärt der Physiker Dr. Michael Wormit, der am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) der Universität Heidelberg auf dem Gebiet der Theoretischen Chemie forscht. Gemeinsam mit Wissenschaftlern aus Neuseeland und Frankreich ist er der Frage nachgegangen, warum sich Quecksilber anders verhält als alle anderen Metalle. Die Antwort darauf haben Physiker schon lange vermutet, doch erst jetzt gelang der Nachweis. Auf der Basis von Simulationen und numerischen Verfahren konnte das Forscherteam zeigen, dass sich der niedrige Schmelzpunkt des Quecksilbers aus der Relativitätstheorie Albert Einsteins ergibt – mit hin ein sogenannter relativistischer Effekt ist.

Einsteins spezielle Relativitätstheorie beschreibt die Eigenschaften von sehr schnell bewegter Materie, wie sie auch im Quecksilberatom vorkommt. Denn Quecksilberatome zeichnen sich durch eine einmalige Elektronenkonfiguration, bestehend aus 82 Elektronen, aus, die nur sehr schwache Bindungen zwischen den einzelnen Atomen zulässt. Vielmehr umrunden die inneren Elektronen den relativ schweren Atomkern von Quecksilber mit so hohen Geschwindigkeiten, dass offenbar eine Beschreibung per Relativitätstheorie erforderlich wird. Michael Wormit hat zusammen mit Dr. Florent Calvo (Université de Lyon, Frankreich), Dr. Elke Pahl und Prof. Dr. Peter Schwerdtfeger (beide Massey University, Auckland, Neuseeland) die atomare Struktur von Quecksilber, bestehend aus dem Atomkern und den dazugehörigen Elektronen, am Rechner modelliert. Mit Hilfe von Computersimulationen untersuchten sie anschließend die Wechselwirkung der Quecksilberatome bei unterschiedlichem Druck und bei verschiedenen Temperaturen.

„Lange Zeit reichte die Leistung von Computern für Simulationen und Berechnungen dieser Art einfach nicht aus“, erläutert der Heidelberger Wissenschaftler. „Mit unserem Forschungsansatz, der sich erstmals mit den entsprechenden Rechnerkapazitäten realisieren ließ, konnten wir zeigen, dass die relativistischen Effekte für die Simulation von Quecksilbermaterialien von entscheidender Bedeutung sind.“ Ohne diese Effekte läge der Schmelzpunkt von kristallinem, sprich festem Quecksilber um 105 Grad Celsius höher. Quecksilber wäre dann bei Raumtemperatur nicht flüssig, sondern fest. ●

WHY IS MERCURY LIQUID AT ROOM TEMPERATURE?

THE SECRET OF MERCURY

Metals are usually characterised by a regular lattice structure. They must absorb a great deal of heat for this structure to break down, converting the metals from their solid to a liquid state. Zinc, for instance, melts at roughly 420 degrees Celsius, gold at 1,337 degrees and tungsten at 3,695 degrees Celsius. So why is mercury the only metal that is liquid at room temperature? For a long time, scientists have struggled to answer this question. Now an international team that includes researchers of Heidelberg University has uncovered the secret of mercury with the aid of computer experiments. Based on simulations and numerical methods, the researchers were able to prove that the low melting point of mercury is a result of Albert Einstein's theory of relativity and thus represents what is known as a relativistic effect.

Einstein's special theory of relativity describes the properties of matter moving at great speed, such as occurs in the mercury atom: These atoms have a unique configuration of 82 electrons that only permits very weak bonds between individual atoms. The inner electrons orbit the heavy nucleus at such great speeds that they must apparently be described by means of relativity.

The scientists – among them Heidelberg physicist Dr. Michael Wormit – created a computer model of the atomic structure of mercury that consists of the nucleus and the associated electrons. Then they ran simulations to investigate the interaction of mercury atoms at different pressures and temperatures. They were able to demonstrate that the relativistic effects are of paramount importance for the simulation of mercury materials. Without these effects, the melting point of crystalline (i.e. solid) mercury would be 105 degrees Celsius higher – turning mercury from a liquid to a solid metal at room temperature. ●

**MIT
HERZ**

**UND
VERSTAND**

MIT HERZ UND VERSTAND

SCHLÜSSEL ZU EINER KOMPLEXEN WELT

JOACHIM FUNKE

Ob im Alltag, in Politik, Wirtschaft oder Wissenschaft – immer häufiger werden wir mit komplexen Problemen konfrontiert. Das „problemlösende Denken“ ist mittlerweile zu einer Schlüsselqualifikation geworden, die uns entscheidend dabei hilft, das Leben zu meistern. Je früher wir diese Kompetenz erwerben, desto besser ist es für uns. Heidelberger Forscher haben eine Methode entwickelt, mit der sie ermitteln können, was uns zu erfolgreichen Problemlösern macht. Ihr Ansatz ist auch in die internationalen PISA-Studien eingegangen.



PROF DR. JOACHIM FUNKE leitet seit 1997 die Arbeitseinheit Allgemeine und Theoretische Psychologie am Psychologischen Institut der Universität Heidelberg. Nach dem Studium der Psychologie, Philosophie und Germanistik wurde er 1984 in Trier promoviert. 1991 habilitierte er sich an der Universität Bonn. Anschließend forschte und lehrte Joachim Funke als Gastprofessor an der Universität Fribourg in der Schweiz, der Melbourne University in Australien und der Nanjing University, China. In den Jahren 2008/2009 war er Fellow am Marsilius-Kolleg der Universität Heidelberg. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören Prozesse wie das Denken, Problemlösen und Kreativität. Seit 2009 ist er Chairman der internationalen Expertengruppe zum Thema „Problem Solving“ für die weltweiten PISA-Studien der OECD.

Kontakt: joachim.funke@psychologie.uni-heidelberg.de

D

Die Denkpsychologie ist in den vergangenen Jahren tiefer in die Welt des Komplexen und Unübersichtlichen vorgezogen. Wir haben ein großes Stück der bis dahin weißen Denklandschaft neu kartiert und zugänglich gemacht – auch wenn sie bei weitem noch nicht vollständig durchdrungen ist. Denkpsychologen nutzen für ihre Untersuchungen heute Computersimulationen mit Dutzenden, Hunderten oder Tausenden Aspekten von bestimmten realen Lebensbereichen. In solchen Szenarien und Mikrowelten soll die Testperson zum Beispiel als Bürgermeister eine Kleinstadt zum Wohlstand führen oder als Entwicklungshelfer ein Dritte-Welt-Projekt leiten. Eines haben alle diese Modelle gemeinsam: Nie weiß man genau, ob und welche Auswirkungen die eigenen Handlungen oder Unterlassungen haben werden.

Komplexe Probleme in komplexen Systemen zeichnen sich durch folgende fünf Merkmale aus:

Eigendynamik Die Systementwicklung ist oft unabhängig davon, ob man eingreift oder nicht. Das macht eine Abschätzung kommender Entwicklungen nötig. Der Klimawandel ist ein Beispiel hierfür.

Vernetztheit Jeder Eingriff in ein derartiges System wirkt gleichzeitig auf viele andere Systemteile, es kommt zu Neben- und Fernwirkungen. Dies setzt eine Modellbildung voraus, die wechselseitige Abhängigkeiten darstellt und dann vorausbestimmen kann. Die Verschreibung eines Medikaments erfordert beispielsweise, dass man etwaige Nebenwirkungen einkalkuliert.

Undurchschaubarkeit Die Elemente und ihre Beziehungen sind nicht direkt zu beobachten. Dies macht aktive Informationsbeschaffung nötig. Beispiel: Vor dem Kauf eines alten Hauses ist man gut beraten, Boden, Bausubstanz und Umgebung sehr genau zu untersuchen.

Unumkehrbarkeit Begangene Fehler sind nicht mehr korrigierbar. Die fehlerhaften Bedienschritte etwa, die zur Katastrophe von Tschernobyl geführt haben, sind irreversibel.

Polytelie Mehrere Ziele müssen gleichzeitig berücksichtigt werden. Das macht Prioritätenbildung und Wertentscheidungen nötig. Zum Beispiel müssen bei einem Großflughafen neben den Betreiberinteressen auch diejenigen der Anwohner berücksichtigt werden – oft gibt es keinen einfachen Kompromiss.

Je früher, desto besser

Problemlösendes Denken ist eine Kernkompetenz, die uns unser ganzes Leben lang begleitet. Je früher wir sie erlernen, desto besser. Aus unseren Studien und den internationalen Vergleichen wissen wir, dass deutsche Schüler zwar über das ausreichende Potential hierzu verfügen, faktisch wird diese Fähigkeit im Unterricht jedoch nicht hinreichend genutzt und gefördert. Deutsche Schulen müssten den Lehrplan deutlich stärker problemorientiert gestalten – so wie dies etwa in all denjenigen Ländern geschieht, die in den PISA-Studien erfolgreich abschneiden. Der landesübliche Unterricht ist zu stark auf die Vermittlung von einzelnen Fakten ausgerichtet; Problemlösungsaktivitäten, die einen größeren Zusammenhang herstellen, werden zu wenig oder gar nicht angeregt. Dabei ließen sich solche Fähigkeiten in jedem Schulfach fördern – im Deutschunterricht genauso wie in der Biologie oder der Mathematik.

Das Bewusstsein, wie bedeutsam problemlösendes Denken ist, ist auch in der internationalen Bildungspolitik angekommen: In den jüngsten PISA-Studien der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) spielt das komplexe Problemlösen als schulfachunabhängige Schlüsselqualifikation eine große Rolle. Es geht um übergeordnete Handlungskompetenzen, die es uns ermöglichen, das Leben auch dann aktiv zu gestalten, wenn wir die „beste Lösung“ nicht kennen. Denn das ist der Normalfall – und die eindeutige Lösung die absolute Ausnahme. Viele Schüler können, wenn sie diese Fähigkeit beherrschen, später ohne Zweifel recht patente Problemlöser werden – ganz unabhängig von ihren sonstigen Schulleistungen.

„Die Heidelberger Methodik hat zu einem globalen Wandel der Untersuchungsparadigmen beigetragen.“

Im Rahmen des von 2007 bis 2013 geförderten DFG-Schwerpunktprogramms „Kompetenzdiagnostik“ haben wir am Psychologischen Institut der Universität Heidelberg erforscht, wie Schüler komplexe Probleme erfassen und lösen. Hierfür analysierten wir ihren Umgang mit interaktiven, dynamischen Situationen. Weit über 1000 Schülerinnen und Schüler haben an unseren Experimenten

„Dass wir die beste Lösung für ein Problem nicht kennen, ist der Normalfall – eine eindeutige Lösung dagegen die absolute Ausnahme.“

teilgenommen. Die jüngste PISA-Studie 2012 hat sich unsere Methodik zu eigen gemacht. Knapp 70 Staaten weltweit, die mit über 500.000 Schülern im Alter von 15 Jahren an PISA teilnehmen, greifen inzwischen auf den Heidelberger Ansatz zurück. Unsere Vorstellungen zur Erfassung dynamischer, interaktiver Problemlösekompetenz konnten so zu einem globalen Wandel der (inzwischen computerbasierten) Untersuchungsparadigmen beitragen.

Der Heidelberger Ansatz

Unser Untersuchungsdesign basiert auf dem Ziel, authentische Anforderungen in einer zunehmend technisierten Welt zu finden, mit denen wir die Kompetenzen der Schüler verlässlich ermitteln können. Den 15-jährigen Schülerinnen und Schülern wird zum Beispiel ein unbekannter MP3-Spieler auf einem Computerbildschirm präsentiert, dessen Funktionalität sie in wenigen Minuten erkunden sollen. Ihre Aufgabe ist es, das Gerät nach erfolgter Exploration so schnell wie möglich in vorgegebene Zielzustände zu bringen (zum Beispiel „mittellauter Jazz mit vollem Bass“). Erfasst werden die Systematik und Vollständigkeit der Exploration sowie die Anzahl der gedrückten Tasten bis zur Zielerreichung. Neben dem MP3-Spieler gibt es noch andere Aufgaben, bei denen die Schüler ihre Problemlösekompetenz unter Beweis stellen müssen, etwa die Konfiguration einer Armbanduhr oder das Bedienen eines Ticketautomaten.

Bei der Aufgabengestaltung ließen wir uns von der Vorstellung leiten, dass im 21. Jahrhundert der Umgang mit Komplexität und Ungewissheit zu einer zentralen Aufgabe wird, für die es zwar kein eigenes Unterrichtsfach gibt (daher auch die Bezeichnung „crosscurriculare Kompetenz“), die aber in verschiedenen Schulfächern – verstärkt in der Mathematik und den Naturwissenschaften – angesprochen wird.

Um diese Kompetenz zu erfassen, haben wir eine sechsstufige Skala entwickelt: Stufe eins sieht das Lösen von Problemen mit ein bis zwei Schritten ohne Plan vor, während Stufe sechs ein differenziertes strategisches Vorgehen in verschiedenen Gebieten beschreibt, bei dem man vielschrittige Pläne flexibel und ressourceneffizient umsetzen kann.

Auch die weltweite PISA-Studie 2012 greift auf diese sechsstufige Skala zurück. Noch ist jedoch nicht bekannt, wie die Schüler in der jüngsten Untersuchung abschneiden – in welchen Ländern sie problemlösendes Denken etwa weit überdurchschnittlich beherrschen und in welchen Ländern sie unter dem OECD-Durchschnitt liegen. Die PISA-Ergebnisse werden Ende dieses Jahres vorgestellt.

Wie werde ich ein guter Problemlöser?

Um gute und lebenskompetente Problemlöser zu werden, müssen Schüler im Grunde genau dasselbe lernen wie Erwachsene: die Vernetztheit und Dynamik komplexer Problemfelder in den Griff zu bekommen. Der erste Schritt besteht darin, eine unübersichtliche Situation zu strukturieren, indem man von ihr ein umfassendes Modell bildet, das die Abhängigkeiten der jeweiligen Einflussfaktoren integriert – und etwa wichtige von unwichtigen Faktoren trennt. Auf dieser Modellgrundlage lassen sich Dynamik und künftige Entwicklungen der Situation beurteilen: Was passiert als Nächstes, welche Möglichkeiten könnten sich langfristig ergeben? Wie bringt man die einzelnen Fakten in Zusammenhang?

Konkret lassen sich die Denkschritte wie folgt beschreiben: Mache dir bei einem schwierigen Problem ein möglichst umfassendes Modell der Situation und gehe vor deinem geistigen Auge verschiedene Varianten mit unterschiedlichen Entwicklungen und Prozessen durch. Was wäre die

jeweilige Konsequenz aus dieser oder jener Entscheidung und wohin könnte das Ganze in einem dritten Szenario führen? Die wichtigste Empfehlung aber lautet: Wage zu denken! Wir sollten unser Gehirn umfassend, selbstbewusst und aktiv zur eigenen Lebensgestaltung nutzen. Auf keinen Fall dürfen wir uns von anderen vorschreiben lassen, was wir denken und was wir tun sollen.

Darüber hinaus müssen wir alle – ob Schüler oder Erwachsene – lernen, mit Prozessen umzugehen, die nichtlinear verlaufen. Wir haben eine kulturell tief verwurzelte Tendenz, Entwicklungen geradlinig vorherzusagen – in der Realität aber ist ein solcher Verlauf meist die Ausnahme. Insbesondere natürliche Prozesse verlaufen häufig nicht-linear, etwa der Klimawandel, der zwar langsam einsetzt, sich aber eher früher als später rasant beschleunigen wird. Bereits in der Schule sollten wir also stärker den Umgang mit dynamischen Systemen lernen. Nur wer sich der komplexen Realität aussetzt, vermag mit ihr umzugehen.

Langfristige Effekte und Nebenwirkungen

Natürlich kommen im Alltag viele Denkfehler vor – wer sie kennt, kann sie möglicherweise vermeiden. Die beiden wichtigsten Fehler betreffen den zeitlichen Horizont sowie die Folgen unserer Handlungen. Unsere Problemmodelle sind oft unvollständig, weil wir Entwicklungsprozesse nicht beachten. Bei kurzfristigen Effekten mögen sie noch greifen, für mittel- oder langfristige Effekte aber zielen sie nicht weit genug. Beim Abschluss eines einfachen Ratenvertrags etwa erscheint der monatliche Abschlag zunächst nicht belastend. Momentan mag das gelten – aber die Raten laufen über mehrere Jahre und der Wert des Produktes verfällt rasch. Die längste Zeit zahlt man also buchstäblich für nichts. Der zweite entscheidende Denkfehler betrifft Nebenwirkungen, die wir zugunsten der Hauptwirkung gerne ausblenden. Wer störende Blattläuse im Garten beseitigen will, greift möglicherweise zu einer chemischen Waffe. Die löst dann zwar das Problem, hat aber nebenbei auch die Raupen der beliebten Schmetterlinge vernichtet. Solche unbedachten Nebeneffekte sind in komplexen Denk- und Handlungsfeldern oft gravierender als die Folgen der Lösung.

Fantasie und Vorstellungsvermögen spielen also eine wichtige Rolle beim Problemlösen – in gleicher Weise gilt dies auch für Gefühle. Wir wissen heute, dass praktisch alle Denkprozesse eng mit unseren Emotionen verknüpft sind. Die traditionelle Trennung zwischen Denken und Fühlen ist nicht aufrechtzuerhalten. Gerade beim komplexen Problemlösen ist der Zusammenhang zwischen kognitiven sowie emotionalen und motivationalen Faktoren entscheidend. Die Forschung zeigt etwa, dass sich Probleme und Aufgaben, die kreative Lösungen erfordern, in positiver Stimmung leichter lösen lassen als in einer weniger erfreulichen. Heisenberg etwa fand die Lösung für seine

„Wir haben eine kulturell tief verwurzelte Tendenz, Entwicklungen geradlinig voraussagen zu wollen.“

KEYS TO A COMPLEX WORLD

WITH HEART AND MIND

JOACHIM FUNKE

We live in a world that grows increasingly vast and complex in all areas of life – from our daily lives to the domains of politics, economics, science and the environment. More and more frequently, we find ourselves facing problems whose consequences are so far-reaching that we hardly know how to master them. That is why problem solving has become a key qualification that helps us bring order to our everyday life and face up to its challenges. The sooner we acquire these skills, the better. Our team at the Heidelberg Institute of Psychology has developed a method to investigate how even students solve complex problems – an approach that has also been adopted by the worldwide PISA studies.

But what makes a good problem solver? Complex problem solving always aims to deal efficiently with the uncertainties within a plan of action. An appropriate problem solving strategy is mainly characterised by two skills: (a) distinguishing between important and unimportant features of the problem in order to create an exhaustive and yet economical model of the situation, and (b) predicting future developments or changes of the situation. There are, of course, common errors in reasoning; the most frequent ones pertain to blocking out the long-term consequences and ignoring the side effects of actions. Our advice: Dare to think and act in a well-considered way!

There are many domains in which the use of psychological research results could improve daily life and working practice. The investigation of problem solving methods and skills could also provide valuable insights for political issues – be it climate change, the reform of the health care system or the Mideast conflict. These areas hold much unused potential for problem solving research. ●

PROF DR. JOACHIM FUNKE has been heading the General and Theoretical Psychology division at Heidelberg University's Institute of Psychology since 1997. He studied psychology, philosophy and German studies, earned his PhD in Trier in 1984 and qualified as a professor at Bonn University in 1991. Joachim Funke has completed teaching and research stays at the Université de Fribourg (Switzerland), Melbourne University (Australia) and Nanjing University (China). In 2008/2009 he was a Fellow at the Marsilius-Kolleg of Heidelberg University. His research focuses on thought processes, problem solving and creative processes. In 2009 he became chairman of the international group of experts on problem solving for the worldwide PISA studies of the OECD.

Contact: joachim.funke@
psychologie.uni-heidelberg.de

**“Not knowing the
‘best solution’ to a problem
is completely normal – having
a clear-cut solution,
on the other hand, is an
absolute exception.”**

Quantentheorie im Urlaub an der Nordsee. Einstein suchte sich im Berliner Umfeld der Mark Brandenburg schöne Plätze zum Nachdenken und Problemlösen. Wer auf seine eigenen Gefühle und Erfahrungen achtet, wird erkennen, dass es bestimmte persönliche Umwelten gibt, in denen er sich wohl fühlt und die das kreative Denken erleichtern – ob im Urlaub, beim Angeln oder Joggen.

Ungenutztes Potenzial in der Problemlöseforschung

Praktisch alle gesellschaftlichen oder politischen Probleme sind heute komplexer Natur – ob es sich um den bereits genannten Klimawandel handelt, die Reform des Gesundheitssystems oder den Nahostkonflikt. Auch für politische Problemstellungen könnte die Problemlöseforschung daher sicher wertvolle Beiträge leisten. Allerdings ist unser Einfluss auf politischer Ebene immer noch minimal: Für Psychologen ist in der Politik bislang wenig Platz – höchstens als psychologisch geschulte Medienberater. Hier gibt es noch viel ungenutztes Potenzial.

Im Rahmen des interdisziplinären Projekts „The Global Governance of Climate Engineering“ am Marsilius-Kolleg der Universität Heidelberg haben wir uns beispielsweise mit der technologischen Beeinflussung des globalen Klimas beschäftigt, dem sogenannten Climate Engineering. Aus Perspektive der Problemlöseforschung kommen wir zu einer kritischen Einschätzung von weltweit favorisierten Techniken, etwa der Reduktion von Sonneneinstrahlung durch künstliche Wolken, dem Einbringen von Schwefelpartikeln in die Stratosphäre oder gar Reflektoren im Weltall. Grund ist, dass die ungewollten Nebenwirkungen derartiger Großtechnologien das eigentliche Hauptziel überschatten könnten – zumal sie aufgrund der Komplexität der Maßnahme nicht rückgängig zu machen wären. Die Irreversibilität eines Eingriffs in ein hoch empfindliches System, das noch immer nicht in allen seinen Einzelheiten verstanden ist, ist ein gefährlicher Faktor. Dieser Umstand sollte uns von entsprechenden Eingriffen abhalten.

In einer weiteren Forschungsarbeit – im Rahmen des Verbundprojekts „CLIMAGE“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung – haben wir darüber hinaus das Verständnis von Menschen für komplexe klimatische Regelkreise untersucht. Unser Ziel war es herauszufinden, unter welchen Bedingungen eine höhere kognitive Durchdringung des Klimawandels möglich ist. Denn ein besseres Verstehen ist die Vorbedingung für besseres Problemlösen.

Unsere Heidelberger Arbeiten haben dabei die bisherige Sicht, die von prominenten Forschern wie dem US-amerikanischen Wirtschaftswissenschaftler John Sterman vertreten wird, in Zweifel gezogen. Demnach besitzen selbst gut gebildete Personen kein akzeptables Verständnis von Klimaprozessen. Wir konnten jedoch zeigen, dass Grund zur Hoffnung besteht: Wird die komplizierte Materie

verständlich präsentiert, ist es uns sehr wohl möglich, sie zu erfassen.

Pessimisten meinen, komplexes Problemlösen könne man nicht gezielt lehren und lernen. Tatsächlich ist es schwierig, jemandem beizubringen, ein guter Problemlöser zu werden. Dennoch bin ich optimistisch. Zahlreiche Befunde belegen, dass Menschen sehr wohl in der Lage sind, sich den Umgang mit komplexen Situationen anzueignen. Inzwischen verfügen wir über eine Reihe geeigneter Unterrichtseinheiten, die problemorientiertes Denken fördern und stärken. Der Leitgedanke dabei: Nur wer sich der komplexen Realität aussetzt, lernt mit ihr umzugehen. Aus dem Imperativ „Wage zu denken!“ folgt als nächster Schritt die Aufforderung „Wage zu handeln!“. Damit hätte sich die Funktionalität des Denkens dann endlich erfüllt. ●

„Problemlösendes Denken ist die Kernkompetenz des 21. Jahrhunderts.“



NEUROSCIENCE
CHAOTIC MINDS
THE INTERPLAY BETWEEN NEURONS
DANIEL DURSTEWITZ & ANDREAS MEYER-LINDENBERG

46



TRANSKULTURELLE STUDIEN
DER WURZELN BERAUBT
ANDINE WELT IN TRÜMMERN
CLAUDIA BROSSEDER

56



WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGESCHICHTE
PARADOXON DER MODERNE
INDUSTRIELLE KATASTROPHEN ALS ORDNUNGSELEMENTE
KATJA PATZEL-MATTERN

64



ANGLISTIK
WE ARE MOVING TO BROOKLYN!
SPRACHMUSTER UND MOBILITÄT
BEATRIX BUSSE

74

MUSTER UND IDENTITÄTEN



MINDS

CHAOTIC

CHAOTIC MINDS

THE INTERPLAY BETWEEN NEURONS

DANIEL DURSTEWITZ & ANDREAS MEYER-LINDENBERG

When you feel a cold breeze on your face, smell fresh coffee, or hear a baby crying, your mind takes in this sensory information and compares it against your memory. Together with how you feel inside – maybe you are tired, thirsty, or irritable – you use this information to inform an appropriate response. Brains are, in essence, information processing systems. As they both store memories and take in information, it makes sense for us to compare our brains to computers. However, the way information is processed in your nervous system is fundamentally different to how your personal computer works.



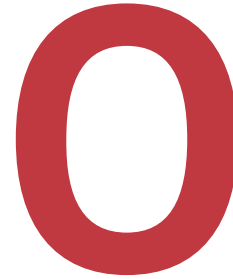
PROF. DR. DANIEL DURSTEWITZ is a researcher at the Mannheim Central Institute of Mental Health (ZI) with a focus on the neuronal foundations of higher cognitive skills and their dysfunction in psychiatric conditions. He has been heading the Computational Neuroscience group since 2008, and in 2011 became a Heisenberg Professor of Theoretical Neurosciences at Heidelberg University and the ZI. In addition, he has served as coordinator of the Bernstein Center for Computational Neuroscience Heidelberg-Mannheim since 2010. Dr. Durstewitz studied psychology and computer science in Berlin and earned his PhD at Bochum University. He worked two years at the Computational Neurobiology Lab of the Salk Institute for Biological Studies in La Jolla (USA) before setting up his own junior research group for "Computational Neuroscience" within the DFG's Emmy Noether program at Bochum University in 2000. The years 2005 to 2008 saw him doing research as a Reader at the Centre for Theoretical and Computational Neuroscience of Plymouth University, England.

Contact: daniel.durstewitz@zi-mannheim.de



PROF. DR. ANDREAS MEYER-LINDENBERG has held the chair of Psychiatry and Psychotherapy at the Medical Faculty Mannheim of Heidelberg University since 2007. In the same year, he became chairman of the board of the Mannheim Central Institute of Mental Health (ZI) and Medical Director of the Clinic for Psychiatry and Psychotherapy at the ZI. After completing his studies of medicine and earning his PhD in Bonn, he worked at the LVR Hospital in Bonn before transferring to Giessen University Hospital in 1994. 1997 marked the beginning of a 10-year stay at the National Institute of Mental Health in Bethesda, USA. During this time, he also earned his teaching credentials at Giessen University (1999). Dr. Meyer-Lindenberg's research focuses on the neural mechanisms of schizophrenia and depression, imaging technology in genetics, social neurosciences and new therapeutic methods for psychiatric conditions.

Contact: a.meyer-lindenberg@zi-mannheim.de



On the face of it, your brain shares many characteristics with computers. Both are information processing devices, using electricity to transmit signals. Like computers, brains perform computations on their inputs and seem to rely on different memory storage systems, with limited capacity, for short-term or long-term use. But that, perhaps, is where the similarities come to an end. A standard computer has distinct hardware components – for instance for storing information or processing it – and responds to commands in a sequential manner. Neurons, on the other hand, work together in a highly distributed, parallel way to produce memories, make decisions, or process sensory information, and do this on many different levels of physical organisation.

Every cell in our nervous system consists of a complex machinery of molecules and genes that translate incoming chemical signals into adaptive changes. Each cell, in turn, is wired into intricately branching networks from which it receives, and to which it sends electrical signals, known as 'action potentials', via several thousand synaptic contacts. These networks form brain areas with different roles, that themselves link up in densely interconnected 'super-networks', enabling your brain to function in the way it does. Thus, at various scales – from molecules to individual cells and synapses, to local networks and brain systems – computations are carried out in the nervous system through interactions among millions to billions of processing units, without any true hierarchical ordering among them.

Your brain is also very distinct from the everyday computer in that computational algorithms in your nervous system are directly translated into hardware changes. Whenever you learn something new, this ultimately results in changes to your brain. Neurons receive electrical inputs from other cells mainly through tree-like morphological structures called dendrites, and send out information to other cells via their axons. The dendrite has branches with thousands of contact sites called spines on which the synapses from other neurons terminate. When a synapse is stimulated in certain ways, and depending on the state of the neuron, these spines literally alter their physical shape (sometimes within minutes) and thus weaken or strengthen the link between the neuron and the other cell. Almost everything

we do alters connections between brain cells – learning and memory crucially depend on it – and software changes are, so to speak, directly burnt into the hardware of the nervous system.

Again, this happens at different levels of organisation – cell morphology and anatomical layout often directly reflect essential computational demands, and studies have revealed examples of dendritic trees that have been tailored towards processing specific types of sensory input. Understanding this further could, in turn, have important implications for our understanding of the structure of the brain and how it changes in response to environmental impacts that may affect our emotions, memories, or way we make decisions.

These and many other examples of differences between the way the brain and computers process and handle information, explain why the language theoretical neuroscientists use to describe computational processes in the brain is very different from the formal programming languages used in computer science. In essence, neural networks are complex, self-organising, highly nonlinear, dynamical systems with emergent computational properties.

Mathematically speaking

The language that has most frequently been employed by theoretical neuroscientists to describe processes in the brain comes from a branch of mathematics termed 'non-linear dynamics'. Nonlinear dynamics deals with systems that are represented mathematically by a set of nonlinear differential equations. These equations describe the evolution of a set of variables in space and time, like the firing rates of a set of neurons or their membrane potentials. The behaviour of dynamical systems can best be illustrated by the concept of a 'state space' – an abstract space representing all possible states a dynamical system could be in. In a complete state space, a point within this space uniquely identifies the current state of the whole system, while the set of differential equations gives a vector at each point that determines its future state, that is where and how fast it will move next. Along this vector field, the state of the system follows a unique path through the space – known as its trajectory – until it may eventually converge toward some bounded, spatially confined region of the space that is a geometrically defined limited subset of all the states the system theoretically could be in. These regions of convergence are called 'attractors', and they come in many different geometrical shapes and dimensions.

In many cases, the attractors may be simple geometrical objects like single points or closed orbits (loops through the state space that start and end at the same point) that give rise to completely regular behaviour, such as oscillations. In other cases, however, they may be complicated fractional geometrical objects that densely fill some region

of state space within which attracted trajectories cycle forever without ever precisely repeating their path. This will give rise to irregular, never-repeating behaviour in the system that nevertheless is purely deterministic – it is not caused by any random component, but can be fully described by a completely deterministic set of

ZI: Weltweit anerkanntes Zentrum moderner Psychiatrie

Das Zentralinstitut für Seelische Gesundheit (ZI) in Mannheim verknüpft Krankenversorgung, Forschung und Lehre im Bereich psychischer Störungen. Mit dieser Zielsetzung wurde es im April 1975 als Landesstiftung des öffentlichen Rechts mit Mitteln des Bundes, des Landes Baden-Württemberg und der VolkswagenStiftung errichtet. In seinen vier Kliniken werden jährlich etwa dreitausend psychisch kranke Menschen aller Altersstufen mit modernsten Therapiemethoden stationär behandelt. Gleichzeitig ist das ZI ein weltweit anerkanntes Zentrum innovativer Psychiatrieforschung und pflegt zahlreiche wissenschaftliche Kooperationen mit nationalen und internationalen Einrichtungen.

Die Forschung am ZI hat es sich zur Aufgabe gemacht, neue Behandlungsmöglichkeiten für psychische Erkrankungen zu entwickeln und vorhandene Therapien zu verbessern. Vorrangiges Ziel ist es, psychotherapeutische und pharmakologische Wirkmechanismen zu identifizieren, zu etablieren und schließlich zu personalisieren. Die Forschung basiert dabei auf einem translationalen Konzept: Zum einen zielen die Wissenschaftler darauf ab, neurobiologische Mechanismen im menschlichen Gehirn zu entschlüsseln, zum anderen untersuchen sie, inwiefern psychische Störungen auch aus einer Wechselwirkung von psychosozialen und verhaltensbiologischen Prozessen heraus entstehen.

Das ZI vertritt an der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg Lehre und Forschung in den Fächern Psychiatrie, Kinder- und Jugendpsychiatrie, Psychosomatische Medizin sowie Suchtforschung. Seine vier Klinikdirektoren sind an der Universität Heidelberg zugleich Lehrstuhlinhaber ihres Fachs. Geleitet wird das ZI von Prof. Dr. Andreas Meyer-Lindenberg, Vorstandsvorsitzender sowie Ärztlicher Direktor der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie. Prof. Dr. Daniel Durstewitz leitet am ZI das Bernstein Center Heidelberg-Mannheim für Computationale Neurowissenschaften sowie die Arbeitsgruppe Computationale Neurowissenschaften.

www.zi-mannheim.de

differential equations. This phenomenon has been termed 'deterministic chaos', and when we refer to chaos in this article, this is precisely what we mean.

Determining chaos in the brain

What might be interesting about deterministic chaos in the context of neural systems? As the brain is a nonlinear dynamical system, a common line of thinking in theoretical neuroscience is that these dynamical properties, like the specific flow of trajectories and the geometrical objects which govern them, implement computational processes. For instance, convergence towards an attractor from an initial state could reflect the process of memory retrieval and pattern completion, while transitions among different attractor states may result in sequences of cognitive events or motor actions. In fact, artificial pattern recognition and memory devices, as well as adaptive motor pattern generators in robots, have been constructed on this basis. However, these are usually attractors with regular dynamics, raising questions as to whether deterministic chaos itself is also computationally beneficial in some way, or whether it is just an inevitable consequence of the brain being a highly nonlinear, diverse and complex dynamical system.

Since the days of the great British mathematician Alan Turing, physicists and computer scientists have been interested in exploring alternative concepts of computation. This is particularly so for emergent computations that

Computational Processes in the Brain

The way information is processed in our nervous system is fundamentally different to how a personal computer works. Neural networks are:

Complex

They consist of intricate networks of billions of interacting units governed by billions of positive and negative feedback loops.

Self-organising

No programmer, software engineer, world-class teacher, central executive or homunculus is needed – they adapt to environmental challenges largely through intrinsic and local mechanisms.

Highly nonlinear

Many processes in the brain do not change gradually and steadily with, for instance, changes in the input, but may exhibit rather abrupt twists and turns. For example, synaptic inputs to a neuron may give rise to brief 'explosive' pulse-like electrical events, so-called 'action potentials', that are used to communicate with other neurons and form the basis of the neural code.

Dynamical

Their states and properties evolve over time. Although the basic currency of neural information exchanges.

**“Neural networks are
in essence complex,
self-organising,
highly nonlinear, dynamical
systems with emergent
computational properties.”**

can be performed by large, interactive and self-organising collections of simple processing elements. These are systems that can be naturally described by sets of differential equations, and hence are subject to the kinds of dynamic phenomena described above. With advances in dynamical and complex systems theory, there came a realisation that the computational capabilities of such systems may depend on the type of dynamic regime which dominates.

If the system behaves in a very orderly way, it may only faithfully follow the input without performing any interesting computations on it. If, on the other hand, the system is in a highly chaotic state, it will quickly forget about any inputs – even initial states that are very similar to begin with will quickly diverge from each other. Such systems are highly sensitive even to very small input variations, a phenomenon sometimes referred to as the ‘butterfly effect’ in popular science literature. They will not produce any consistent or reproducible behaviour if there is even the slightest bit of noise – in essence, they will behave quasi-randomly. It turns out that there is an interesting intermediate state, a kind of optimal balance between order and disorder called the ‘edge of chaos’, where the dynamic hovers at the transition from complex yet regular, to chaotic dynamics.

On the edge of chaos?

On their transition towards a state of chaos, dynamical systems often undergo a series of changes, where they become increasingly complex in both space and time. However, they will still remain regular until they finally hit the boundary of true chaos. At the edge of chaos, the optimal balance between ‘order’ and ‘chaos’ is reached. Here, the complexity of the system dynamics is enough to allow for interesting computations, yet not so high as to lead to an exponentially fast loss of information. Such characteristics can be found in diverse physical systems such as sand avalanches, or forest fires.

Systems on the edge of chaos often possess what are known as ‘long memory’ properties – they can retain their input information, in principle, for an indefinite time. This is reflected in power law distributions of events generated by the system and the so-called ‘scalar property’ that comes with them, which loosely states that event relations are preserved at many different temporal or spatial scales. Power law distributions and the scalar property have often been observed in neural systems and, indeed, the large-scale wiring of the human brain may have characteristics that support ‘edge of chaos’ dynamics. Thus, it has been argued by some that neural systems thrive by entering a regime that is on the edge of chaos, as this is computationally optimal for information processing purposes.

“The properties and diversity of neurons and synapses quickly lead to a highly chaotic system that is far beyond the edge of chaos.”

However, while in theory this hypothesis represents an important contribution to the field, it is not clear how well it applies to dynamics in the brain in reality. Theoretical and empirical studies have shown that the highly nonlinear biophysical properties of neurons and synapses, as well as their large diversity, quickly lead to highly chaotic system dynamics that are far beyond the edge of chaos. Moreover, empirical observations of power law-like distributions are relatively unspecific and may be attributable to a range of different phenomena. Recent electrophysiological observations in the living brain support the idea that jittering, adding, or deleting even a single action potential within a large network will lead to rapid changes in subsequent action potential times across the network. Moreover, there are many sources of intrinsic noise in the nervous system – for instance, neocortical synapses are surprisingly unreliable, with transmitter release probabilities usually below thirty percent.

Chaos ≠ randomness

This creates an apparent paradox: How could a system as divergent and chaotic as the brain carry out any sensible computations? Indeed, given what we have considered so far, one might expect the brain to quickly lose this information about the inputs and behave quasi-randomly. While this remains a puzzle for scientists, some important ideas have been put forward that are allowing us to think about this question in new ways.

One of these ideas is that chaos has a number of important differences to complete randomness: it is still purely deterministic, despite its trajectories diverging exponentially fast – theoretically speaking it is still possible to infer future states from the present. This is different from a purely random process, where successive measurements in time are independent and the best guess for the future is simply taking the average across the observed time series. Even in a highly chaotic system, successive observations are still correlated, only that they decay exponentially fast and are easily obscured by noise, while in a purely random process there are no correlations to begin with.

More importantly, chaotic attractors are still spatially bounded geometrical objects, meaning that data points cannot just be from anywhere in state space – they come from a spatially confined set. Moreover, different attractor states in the system will form mutually exclusive sets, with noise potentially inducing spontaneous transitions among these. As a consequence, the activity dynamics of the system may best be described by a probability distribution that will be far from uniform: it will have many local peaks and troughs, implying that some states and some transitions between states are far more likely than others.

“How could a system as divergent and chaotic as the brain carry out any sensible computations?”

DAS WECHSELSPIEL DER NEURONEN

CHAOTIC MINDS

DANIEL DURSTEWITZ & ANDREAS MEYER-LINDENBERG

Die primäre Aufgabe des Gehirns ist die Verarbeitung von Informationen. Es nimmt Reize aus der Umgebung auf, vergleicht diese mit bereits gespeicherten Informationen und setzt sie in adaptive Verhaltensprogramme um. Intuitiv liegt der Vergleich mit menschengemachten Rechnerarchitekturen nahe. Bei näherer Betrachtung allerdings unterscheiden sich die Prinzipien und Mechanismen, mit denen neuronale Netzwerke Informationen verarbeiten, fundamental von denen eines Computers. Beispielsweise werden im Gehirn Reize auf zahlreichen Ebenen parallel verwertet und nicht sequentiell, so wie es im Computer standardgemäß erfolgt.

Die Prozesse, die bei der Informationsverarbeitung im Gehirn ablaufen, lassen sich dementsprechend nicht mit der formalen Programmiersprache der Informatik abbilden. Wesentlich besser eignet sich hierfür die Sprache der Mathematik – genauer die Sprache, mit der Mathematiker nichtlineare dynamische Systeme beschreiben. Denn ebenso wie diese Systeme, deren Verhalten auch als deterministisches Chaos bezeichnet wird, kennzeichnen sich neuronale Netzwerke durch hochgradig komplexe, sich selber organisierende sowie nichtlinear verlaufende und dynamische Prozesse.

Eine einflussreiche Hypothese der letzten zwei Jahrzehnte besagt, dass ein neuronales Netzwerk die Art und Weise, mit der es Informationen verarbeitet, optimieren kann. Voraussetzung hierfür ist, dass es sich direkt am Übergang von relativ komplexem, aber noch geordnetem Verhalten zu irregulärem, quasi zufälligem Verhalten aufhält. Theoretische und experimentelle Ergebnisse Heidelberger Wissenschaftler aus jüngerer Zeit lassen hingegen vermuten, dass das Gehirn chaotische Dynamiken auf einer „Mikroebene“ mit geordnetem Verhalten auf einer „Makroebene“ kombiniert. So ist eine ideale Balance zwischen Flexibilität und Anpassungsfähigkeit einerseits und zuverlässigem, reproduzierbarem Verhalten andererseits gewährleistet. ●

„Um Informationen flexibel und verlässlich zu verarbeiten, kombiniert das Gehirn chaotische Dynamiken auf einer Mikroebene mit geordnetem Verhalten auf einer Makroebene.“

PROF. DR. ANDREAS MEYER-LINDENBERG hält seit 2007 eine Professur für Psychiatrie und Psychotherapie an der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg. Zudem ist er Vorstandsvorsitzender des Mannheimer Zentralinstituts für Seelische Gesundheit (ZI) sowie Ärztlicher Direktor der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie am ZI. Nach dem Medizinstudium und der Promotion arbeitete er zunächst an den Rheinischen Kliniken Bonn, bevor er 1994 an das Universitätsklinikum Gießen wechselte. Von 1997 an folgten ein zehnjähriger Aufenthalt am National Institute of Mental Health in Bethesda, USA, sowie – parallel – die Habilitation an der Universität Gießen (1999). Die Forschungsschwerpunkte des Mediziners liegen auf folgenden Gebieten: neurale Mechanismen von Schizophrenie und Depression, Bildgebungsverfahren in der Genetik, soziale Neurowissenschaften sowie neue Therapieverfahren psychiatrischer Erkrankungen.

Kontakt: a.meyer-lindenberg@zi-mannheim.de

PROF. DR. DANIEL DURSTEWITZ erforscht am Mannheimer Zentralinstitut für Seelische Gesundheit (ZI) die neuronalen Grundlagen höherer kognitiver Fähigkeiten und deren Störungen bei psychiatrischen Erkrankungen. Er leitet dort seit 2008 die Arbeitsgruppe Computationale Neurowissenschaften und übernahm im Jahre 2011 die Heisenberg-Professur für Theoretische Neurowissenschaften an der Universität Heidelberg und dem ZI. Seit 2010 ist er zudem Koordinator des Bernstein-Zentrums für Computationale Neurowissenschaften Heidelberg-Mannheim. Nach dem Studium der Psychologie und Informatik in Berlin und der Promotion an der Ruhr-Universität Bochum war er zwei Jahre am Computational Neurobiology Lab des Salk Institute for Biological Studies in La Jolla (USA) tätig, ehe er im Jahr 2000 die Leitung der Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe „Computationale Neurowissenschaften“ an der Ruhr-Universität Bochum übernahm. Von 2005 bis 2008 forschte Daniel Durstewitz am Centre for Theoretical and Computational Neuroscience der Universität Plymouth, England.

Kontakt: daniel.durstewitz@zi-mannheim.de

Chaos and order on different levels

Having highly chaotic dynamics yet sufficient order to allow for useful computations may be possible if these two phenomena happen on two different scales. At the micro-scale of single spikes the dynamics are indeed highly chaotic, as supported by some of our own computational and physiological work. However, at the macro-scale of network or population states there is a lot of structure. This is suggested partly by our own analyses of network states characterised using electrophysiological and neuroimaging tools in both humans and animals. The combination of local chaos with global structure may enable reliable and reproducible computations at the same time as the flexibility that allows our brains to work in the way they do.

In fact, to deliver flexibility and creativity in cognition, the system may deliberately add noise such as unreliable synaptic transmission. It may also create highly divergent dynamics on the micro-scale that amplifies this noise to create different trajectories through the system's state space, even when conditions at the beginning are similar.

This way, the neural system may be able to find new solutions to problems, instead of always following the same path, as would be typical of reflex-type behavior. Therefore, according to this view, the nervous system is not so much trying to strike the right balance between order and chaos, but rather it combines deliberately probabilistic chaos at a lower level with emergent order at a higher level in order to allow for flexible, yet reliable, computations. ●

**DER
WURZELN**


BERAUBT

DER WURZELN BERAUBT

ANDINE WELT IN TRÜMMERN

CLAUDIA BROSEDER

Unermessliche Reichtümer, beeindruckende Bauwerke und ein straff organisiertes Staatswesen – zahlreiche Zeugnisse belegen, wie fortschrittlich die frühen Kulturen der Anden waren. Im 16. Jahrhundert jedoch kam es zum Bruch: Die Spanier marschierten in die Gebirgswelt ein und unterwarfen sie mit roher Gewalt. Was für die Kolonialisten die Herstellung von Recht und Ordnung bedeutete, erzeugte aus Sicht der andinen Bevölkerung ein unvergleichliches Chaos. Politische, sozioökonomische und religiöse Strukturen wurden unterdrückt, alte indigene Überzeugungen ausgerottet. Heidelberger Historiker rekonstruieren die Geschichte der Kolonialzeit aus indigener Perspektive und eröffnen damit ein neues Kapitel in der Kulturgeschichte.



Im Jahre 1567, hoch in den Anden und doch unweit der Pazifikküste, riefen andine Priester zum ersten – und vorerst letzten – Mal zum Widerstand gegen die Christen auf. Mit eindringlichen Appellen flehten sie die Bevölkerung an, dem neuen Christentum zu entsagen und sich wieder der eigenen andinen Religion zuzuwenden. Ihre Warnung: Die vormals verehrten „Gottheiten“ der Anden, sogenannte huacas, würden Krankheit über die Gebirgswelt bringen, weil die Bevölkerung sie nicht mehr achte und sie – so wörtlich – verhungern ließe. Doch ihre Mahnrufe waren vergeblich.

Die junge peruanische katholische Kirche reagierte mit Unverständnis und Gewalt auf die Gerüchte von einer drohenden indigenen Rebellion. Noch war die politische Herrschaft in den Anden nicht gesichert; noch gab es Nachfahren der Inka, die diese Herrschaft für sich beanspruchten und die sich in der Vilcabamba Kordillere verschanzten – der Region, in der heute die archäologische Stätte Machu Picchu zu finden ist. Aus Furcht vor der chaotischen Gemengelage schickte der damalige Bischof von Cuzco katholische Priester zu systematischen Visitationen aus. Hunderte von andinen Priestern wurden verhaftet, tausende „Idole“ – Abbilder von „Gottheiten“ – zerstört. Schlussendlich, so die offizielle Version spanischer kolonialer Historiker, wurde die Ordnung in den 80er-Jahren des 16. Jahrhunderts wiederhergestellt.

Was für die Spanier ein Sieg der Ordnung über das Chaos war, bedeutete in den Augen der Priester das genaue Gegenteil. Vor dem Hintergrund ihrer in über fünftausend Jahren herausgebildeten politischen, sozioökonomischen und religiösen Strukturen lag nun die andine Welt in Trümmern. Die Bedrohung der andinen Kultur war von unvergleichlichem Ausmaß.

Unruhige Zeiten in den Anden

Es wäre ein Einfaches, die Beziehungen zwischen Spaniern und Indigenen im kolonialen Lateinamerika unter den Parametern „Chaos und Struktur“ zu fassen und diese aus spanischer Perspektive heraus zu beschreiben. Denn vom 16. bis zum frühen 19. Jahrhundert rangen die Spanier fortlaufend damit, die Ideale ihrer wandelnden Ordnungsvorstellungen in der spannungsgeladenen Region

zu implementieren. Erst war es der Bürgerkrieg zwischen den Anhängern der spanischen Eroberer Francisco Pizarro und Diego de Almagro, der chaotische Zustände verursachte; das spanische Mutterland sah sich schließlich zur Einführung des Vizekönigtums in Peru veranlasst, um die Ordnung wiederherzustellen. Dann war es die Ausbeutung der indigenen Bevölkerung durch die „encomenderos“ (ehemalige verdiente Soldaten, die Landbesitzer wurden), die ein Eingreifen der spanischen Krone erforderte. Sie beschränkte die Privilegien der encomenderos, worauf diese mit massivem Widerstand und Rebellion reagierten.

Selbst als die politische Herrschaft der Spanier in den Anden gesichert schien und per Gesetze lediglich noch Feinjustierungen vorgenommen wurden, kehrte keine Ruhe ein. Denn die Kirche in der Erzdiözese von Lima empfand die fortbestehenden andinen Rituale, andinen Bräuche und vor allem die andine Religion, die nie kodifiziert worden war, sondern nur mündlich tradiert wurde, als einen untragbaren Makel in einer christlichen Gesellschaft. Die andine Religion widersprach den spanischen Vorstellungen einer neuen und prosperierenden christlichen Republik in den Amerikas. Ganz zu schweigen von falschen indigenen Assimilationen, die sich relativ rasch allerorten herausbildeten und die – gemessen an gegenreformatorischen Vorstellungen Europas – das Christentum der Indigenen nicht als das ursprünglich angestrebte Ideal, sondern als zweifelhafte Interpretation erscheinen ließen. Fast über das gesamte siebzehnte Jahrhundert hinweg organisierten die Erzbischöfe von Lima systematische „Kampagnen zur Ausrottung der indigenen Idolatrie“ (Götzendienst), an denen die Jesuiten großen Anteil hatten. Jedoch waren sie nur teilweise erfolgreich – im Verborgenen konnten andine religiöse Bräuche die Herrschaft der Spanier überleben.

Schreibt man die Geschichte der kolonialzeitlichen Anden also aus spanischer Perspektive, dann zeigt sich, wie die Spanier teils mit erprobten, teils mit neu geschaffenen Strukturen dem politischen, ökonomischen und kulturellen sowie dem religiösen Chaos zu begegnen versuchten. Allerdings gab es noch eine ganz andere Entwicklung, die von ihnen als das größte – letztlich unbeherrschbare – Chaos empfunden wurde: das Aufkommen neuer sozialer Gruppierungen, die aus der Vermischung der Völker entstanden. Mestizen und Mulatten waren nur zwei der wichtigsten neuen Gruppierungen. Spanier und Kreolen (so werden die in der Neuen Welt geborenen Nachkommen spanischer Eltern bezeichnet) versuchten, diesen Gruppen in dem sogenannten Casta-System einen festen Platz in der Gesellschaft zuzuordnen. Jedoch gab es – entgegen der häufig anzutreffenden Vorstellung, dass das Casta-System ein starres Kastensystem war – in der Praxis des späten 18. Jahrhunderts durchaus soziale Mobilität über die castas hinaus. Es blieb also nur ein Versuch, vermeintliches gesellschaftliches Chaos in eine Struktur zu überführen.

**„Andine Rituale
und Bräuche wurden
als ein untragbarer
Makel in einer christ-
lichen Gesellschaft
empfunden.“**

Die ungeschriebene Geschichte der Indigenen

Betrachtet man nun die Kolonialzeit für den Raum der Anden, wie auch für andere Orte der damaligen spanischen Vizekönigtümer, nicht aus Perspektive der Spanier, sondern aus Sicht der indigenen Welt, zeigen sich viele Lücken in der Geschichtsschreibung. Aus spanischer Perspektive können Gesetzgebungen, Vorstellungen, Gewohnheiten und vieles mehr vor verschiedenen Hintergründen erforscht werden – seien diese iberischen oder generell europäischen, jedenfalls immer christlichen Ursprungs. Ähnlichkeiten und Abweichungen spanisch-amerikanischer Innovationen lassen sich vor der Matrix europäischer Traditionen relativ einfach rekonstruieren. Anders jedoch bei der Geschichtsschreibung der Kolonialzeit aus indigener Perspektive. Da die indigene Bevölkerung nur sehr wenige kolonialzeitliche Selbstzeugnisse hinterlassen hat und die präspanische andine Welt über keine Schriftsprache verfügte, die heute sicher entziffert werden könnte, stellt das Abgleichen kolonialer andiner Traditionen vor einem indigenen Hintergrund eine sehr viel größere methodische Herausforderung dar. Es verwundert nicht, dass diese Geschichte in vielen Aspekten noch nicht geschrieben worden ist.

„Aus spanischer Perspektive lässt sich die Kolonialzeit gut rekonstruieren, aus indigener Sicht ist dies ungleich schwerer.“

Heidelberger Wissenschaftler der Transcultural Studies versuchen, in dem Forschungsprojekt „Dialog der Kulturen in der andinen Welt“ diese Geschichte aus der Perspektive der Indigenen zu rekonstruieren. Mit dieser außergewöhnlichen Herangehensweise untersuchen wir unter anderem die Entwicklung der andinen Religion während der Kolonialzeit und das Fortleben beziehungsweise die Brüche in andinen sozioökonomischen Strukturen. Diese Beispiele erlauben es uns, Kontinuitäten und Brüche innerhalb der andinen Welt über die Zerstörung ihrer politischen Strukturen hinaus zu analysieren.

Für die Rekonstruktion andiner Religion während der Kolonialzeit ist der Glaube der Inka nach wie vor Dreh- und Angelpunkt – auch wenn die Inka nur circa hundert Jahre über weite Bereiche der Anden geherrscht haben. Grund ist, dass spanische Chronisten oft mit großer Bewunderung für die kulturellen Leistungen der Inka eigene Nachforschungen im Dialog mit der indigenen Bevölkerung angestellt haben. Natürlich schrieben spanische Chronisten nicht als moderne Ethnographen und Historiker, den-

Transkulturelle Studien: epochen- und kontinentübergreifend forschen

Die Transkulturellen Studien sind eine der starken wissenschaftlichen Säulen der Volluniversität Heidelberg und werden im Rahmen des Zukunftskonzepts gefördert, mit dem die Universität in beiden Runden der Exzellenzinitiative erfolgreich war. Ihr entscheidendes Merkmal ist die enge Verknüpfung verschiedener Disziplinen. Übergeordnetes Ziel der beteiligten Wissenschaftler ist es, bestehende Fokussierungen der "area studies" auf historische Epochen oder Kontinente zu überwinden und transkulturelle Prozesse in den Blick zu nehmen.

Die Universität hat in den Transkulturellen Studien ein Karrieremodell implementiert, das in den Geisteswissenschaften bislang einzigartig ist: Neben den traditionellen wissenschaftlichen Laufbahnen mit Habilitation, Assistentenstelle oder Juniorprofessur wurden vier unabhängige Nachwuchsgruppen eingerichtet, denen frühe wissenschaftliche Selbstständigkeit übertragen wurde: Nachwuchsgruppenleitung, Promotionsrecht und ein individuelles Budget. Dr. Claudia Brosseder leitet seit 2008 eine dieser Gruppen; darüber hinaus ist sie Sprecherin der Transkulturellen Studien.

www.uni-heidelberg.de/transculturality

noch lässt sich die Glaubwürdigkeit ihrer Überlieferungen gemäß der Zwecksetzung ihrer Werke klar hierarchisieren. In ihren Zeugnissen verstecken sich wertvolle Hinweise auf inkaische Vorstellungen, die wohl teils mit den Vorstellungen anderer andiner und von den Inka unterworfenen Kulturen übereinstimmen. Für die Frage, wie lokale religiöse Kulte unter dem inkaischen Staatskult überlebten beziehungsweise wie sie sich vom inkaischen Staatskult unterschieden, gibt es bisher allerdings nur unbefriedigende Antworten.

Methodische Zwickmühle

Um eine Vorstellung darüber zu erhalten, wie sich andine Religion während der Kolonialzeit entwickelte, bedarf es deshalb einer Vorher-Nachher-Analyse, das heißt eines Vergleichs der andinen Religion vor der Ankunft der Spanier und nach der Eroberung. Das „Nachher“ lässt sich relativ gut durch die Visitationsprotokolle aus den sogenannten „Kampagnen zur Ausrottung der Idolatrie“ und aus den oft sehr genauen Beschreibungen der Jesuiten erfassen. Die Analyse des „Vorher“ gestaltet sich jedoch ungleich schwieriger – vor allem wenn es um lokale andine Kulte geht und nicht um inkaische Traditionen. Weder sind hier die spanischen Chronisten zuverlässig, noch sind die archäologischen Funde annähernd flächendeckend.

„Für die Spanier stellte ihre Invasion in den Anden ein Sieg der Ordnung über das Chaos dar, in den Augen der Bevölkerung bedeutete sie das genaue Gegenteil.“

Ein erster Weg aus dieser methodischen Zwickmühle besteht einerseits darin, genau zu analysieren, welche europäischen, oft antiken und spätantiken Modelle die spanischen Chronisten verwendeten; andererseits müssen wir die inkaischen und – soweit sie archäologisch erfasst sind – die regionalen Kulte näher beleuchten. Besonders vielversprechend ist dabei die Analyse von Objekten, die andine Priester in ihren Ritualen einsetzten und auch während der Verfolgung durch die Spanier weiterbenutzten. Diese Objekte finden wir in archäologischen Befunden aus verschiedenen Zeiten und verschiedenen Kulturen. Und wir finden Hinweise auf sie in den Überlieferungen der spanischen Chronisten. Außerdem hatten spanische Missionare und die sogenannten Visitatoren, die den Grad der Bekehrung der Indigenen zum Christentum erfassen sollten, ein besonderes Augenmerk auf jegliche Gegenstände, die sie für götzendienerische Idole hielten. Sie beschrieben die Objekte teils akribisch, zählten sie und brüsteten sich mit der Anzahl, die sie zerstörten.

Zu den überlieferten Idolen gehören steinerne Maiskolben, Coca-Blätter, Muscheln, illas (Steine, die nach andinen Vorstellungen mit besonderen Kräften ausgestattet waren), Federn, Fett, Meerschweinchen, Kröten und verschiedene Farbpulver. Die andinen Priester ordneten sie in unterschiedlichen Kombinationen an und besprengten sie manchmal mit Maisbier, um Patienten zu heilen oder ihnen die Zukunft vorhersagen zu können. Der Gebrauch dieser Objekte in rituellen Handlungen ist wie eine bleibende Struktur andiner Kultur. Erstaunlicherweise durchlief ihre Verwendung während der Kolonialzeit nur einen sehr partiellen Wandel. Für Historiker der kolonialzeitlichen Anden sind

die Objekte selbst, ihr ritueller Einsatz und die in ihnen – so würden wir heute sagen – enthaltene Symbolsprache deshalb wie ein Buch, das uns Auskunft gibt über Ordnungsvorstellungen der indigenen Bevölkerung. Sie lassen Rückschlüsse zu auf den Wandel, aber auch auf die zeitweilige Resistenz der kulturellen Logik andiner Kulturen.

Die mächtigen Kräfte der huacas

Nehmen wir ein Beispiel: Viele andine Priester wurden auch noch während der Verfolgung durch die Spanier von den Bewohnern der Hochanden konsultiert – etwa zu Fragen des eigenen Wohlbefindens, der Fruchtbarkeit von Herde und Acker oder auch zu Fragen der Erfolgchancen einer anvisierten Handlung. Dabei benutzten sie fast alle in ihren sogenannten mesas (rituellen Anordnungen) bestimmte Steine, die sogenannten illas. Um diese Objekte rankten sich oft Mythen, die indirekt auf mächtige huacas verwiesen. Verwendete nun ein andiner Priester derartige Steine in einem seiner Rituale, beispielsweise einem Heilungsritual, dann – so scheint es – lebte die damit im Mythos assoziierte Macht wieder auf; die oft positiv wirkende Macht wurde sozusagen im Ritual verlebendigt und konnte als solche dem Rat- und Hilfesuchenden zur Seite stehen. Mit der Verwendung eines illas stellte der Priester außerdem eine Beziehung zwischen der übergeordneten huaca und der Heilung her.

Nach Ansicht der andinen Priester wohnten allen Objekten, die sie in einem Ritual verwendeten, Kräfte inne, die Heilung, Wohlbefinden oder Fruchtbarkeit bewirkten. Nur eine gute Kommunikation der Andenbewohner mit ihren huacas und die in rituellen Handlungen vollzogene



PD DR. CLAUDIA BROSEDER übernahm 2008 die Leitung einer Nachwuchsgruppe in den Transcultural Studies der Universität Heidelberg. Im Rahmen einer Förderung durch die Exzellenzinitiative erforscht sie die Kolonialzeit Perus aus Perspektive der ursprünglichen Bewohner der Anden. Sie studierte Geschichte und Philosophie an der LMU München und an der amerikanischen Princeton-Universität. 2002 wurde sie in München promoviert. Nach langen Forschungsaufenthalten in verschiedenen Ländern Lateinamerikas, vor allem Perus, ging sie als Humboldt-Stipendiatin an die Stanford University und bekam 2007 einen Ruf als Visiting Assistant Professor an die Stetson University in Florida. 2009 habilitierte sie sich an der Münchener LMU in Neuerer Geschichte. Die Historikerin ist Mitglied des Universitätsrats der Universität Heidelberg.

Kontakt: cbroseder@uni-heidelberg.de

ANDEAN WORLD DESCENDS INTO CHAOS

UPROOTED

CLAUDIA BROSEDER

Untold treasures, impressive architecture, an excellent infrastructure and a tightly organised political system – archaeological finds testify to the fact that the early Andean cultures were highly developed and surprisingly progressive. Their development took a sudden turn in the 16th century: The Spanish invaded the mountainous region and subjugated its inhabitants with brute force. While the colonialists took measures to establish law and order, these same measures plunged the Andean population into unparalleled chaos. Political, socio-economic and religious structures that had grown over the space of five thousand years lay in ruins, and traditional indigenous beliefs were at risk of being exterminated.

How the Andean population reacted to the chaos of the conquista and, more importantly, why people acted as they did, is still largely unknown. Finding answers to these questions is all the more difficult because the Andean peoples left very few written documents. Heidelberg scientists in the field of transcultural studies are attempting to reconstruct the colonial period from the indigenous peoples' perspective and thereby to close a gap in historiography. Their research project "Cultural Dialogue in the Andean World" aims to shed light on the development of the Andean religion during the oppression by the Spanish Crown, and on the survival or fracturing of Andean socio-economic structures. Since the colonial Americas were a place of intensive cultural exchange between the native peoples, the Spanish, Creoles and African Americans, the researchers have chosen an interdisciplinary approach that in many respects also demands a transcultural perspective on the part of the scientist. For Heidelberg University's Transcultural Studies, investigating this part of history is at once an exciting challenge and a Herculean task. ●

PD DR. CLAUDIA BROSEDER is an associate professor at Heidelberg University and in 2008 became head of a junior research group in the university's department of Transcultural Studies. Supported by funding through the German Excellence Initiative, she investigates the colonial period in Peru from the perspective of the indigenous Andean peoples. Dr. Broseder studied history and philosophy at LMU Munich and at Princeton University. After earning her PhD in Munich in 2002, she completed long-term research stays in several Latin American countries, most notably Peru, before transferring to Stanford University on a Humboldt scholarship. In 2007, she was offered a position as Visiting Assistant Professor at Stetson University in Florida. She earned her teaching credentials as professor of modern history in 2009 at LMU Munich. The historian is a member of the Heidelberg University Council.

Contact: cbrossed@uni-heidelberg.de

“For the Spanish, the invasion of the Andes was the triumph of order over chaos; for the indigenous peoples, it was the exact opposite.”

Bestätigung ihrer Abhängigkeit von den Gottheiten konnten diese Kräfte zum Leben erwecken und somit das Überleben der andinen Welt garantieren, so der Glaube der Priester. Ohne die wohlwollenden Kräfte der huacas drohte die andine Welt im Chaos zu versinken. Vor diesem Hintergrund lässt sich zumindest erahnen, warum die eingangs erwähnten Priester ihre Mitbewohner um die weitere Verehrung der huacas und die Abwendung vom Christentum anflehten. Wenn darüber hinaus spanische Missionare andine Objekte – in spanischen Augen Idole – vernichteten, dann bedeutete dies auch die Zerstörung der Kommunikation der Andenbewohner mit ihren huacas und in letzter Konsequenz die Zerstörung der andinen Religion. Krankheit, Verwüstung, Unfruchtbarkeit, kurz: allumfassendes Chaos waren nach andiner Überzeugung die Folge. Denn – so zeigten die Verwendung andiner Objekte und ihr Verweischarakter auf andine Gottheiten – die andine Welt funktionierte nur so lange, wie man sich des Wohlwollens übermenschlicher (nicht unbedingt übernatürlicher) Kräfte dieser huacas sicher war.

Die Geschichtsschreibung der Kolonialzeit in den Anden aus indigener Perspektive steckt immer noch in ihren Anfängen. Selbst wenn die andine Welt über nur wenige eigene kolonialzeitliche Schriftzeugnisse verfügte, kann hier ein neues Kapitel der Kulturgeschichte geschrieben werden. Um eine Geschichte aufzuarbeiten, die wertende Hierarchisierungen endlich archiviert und nicht nur aus der Perspektive europäischer „Eroberer“ geschrieben ist, bedarf es dabei dringend einer interdisziplinären Zusammenarbeit, die in vielerlei Hinsicht auch vom Wissenschaftler „Transkulturalität“ erfordert. Denn die kolonialzeitlichen Amerikas waren ein Ort des intensiven kulturellen Austausches zwischen Indigenen, Spaniern, Kreolen und Afroamerikanern. Für die „Transcultural Studies“ ist und bleibt die Aufarbeitung dieser Geschichte eine spannende Herausforderung und gleichzeitig eine Herkulesaufgabe. ●

PARADOXON

DER

MODERNE

PARADOXON DER MODERNE

INDUSTRIELLE KATASTROPHEN ALS ORDNUNGSELEMENTE

KATJA PATZEL-MATTERN

Kaum eine historische Entwicklung hat unsere wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse so tiefgreifend verändert wie die Industrialisierung. Wohlstand und Lebensqualität stiegen infolge der rasanten technischen Entwicklung deutlich an – ebenso jedoch die Anzahl nie dagewesener Großkatastrophen. Tschernobyl, Bhopal oder Fukushima beschwören Bilder von lodernden Flammen, qualmenden Trümmern und apokalyptischen Landschaften herauf. Heidelberger Wissenschaftler haben über einen längeren Zeitraum hinweg analysiert, wie Industrieunfälle in den Medien dargestellt werden, wie Betroffene sie in ihren persönlichen Erzählungen verarbeiten und Unternehmen darüber berichten. Das Ergebnis der Untersuchungen scheint paradox: Industrielle Katastrophen stabilisieren die Ordnung der technisch-industrialisierten Moderne.



PROF. DR. KATJA PATZEL-MATTERN nahm 2009 den Ruf der Universität Heidelberg auf eine Professur für Wirtschafts- und Sozialgeschichte an. Nach ihrem Studium in Barcelona und Münster, wo sie auch promoviert wurde, habilitierte sie sich an der Universität Konstanz (2008). Die Historikerin ist stellvertretende geschäftsführende Direktorin des Zentrums für Europäische Geschichts- und Kulturwissenschaften (ZEGK) und ab Wintersemester 2013/2014 Mitglied im Leitungsausschuss der Heidelberger Graduiertenschule für Geistes- und Sozialwissenschaften (HGGS). Außerdem nimmt sie das Amt der Gleichstellungsbeauftragten der Philosophischen Fakultät wahr. Ihre Forschungsschwerpunkte sind neben Industrieunfällen und Arbeitsbeziehungen als Teil der Industriegeschichte die Wissensgeschichte und die historische Zeitforschung. Insbesondere interessiert sie sich für Formen der Aneignung und Kommunikation historischer Erfahrungswelten.

Kontakt: katja.patzel-mattern@zegk.uni-heidelberg.de

S

Struktur und Chaos markieren die Scheidelinie zwischen Alltag und Industrieunfall. Präsent ist die Berichterstattung über Fukushima – eine Katastrophe, die im März 2011 ohne Vorwarnung in den friedlichen Alltag einzubrechen schien. Der Darstellung des Chaos in Form von materieller Zerstörung und unsichtbarer Strahlung stand das Versprechen auf Information und Aufklärung entgegen. Beides war in den Medien allgegenwärtig. Wie aber erklärt sich die Verwendung solch komplementärer Botschaften in der kulturellen Kommunikation?

Ein kulturwissenschaftlicher, von der Narratologie (Erzähltheorie) beeinflusster Zugang erlaubt es uns, die Darstellungen von Industrieunfällen systematisch zu erfassen und für die Analyse fruchtbar zu machen. Dabei kommen wir zu einem erstaunlichen Befund: Industrielle Katastrophen sind als notwendige Bedingungen der technisch-industrialisierten Moderne zu verstehen. Sie stabilisieren, wie der Kultur- und Wissenshistoriker Christian Kasung betont, deren Ordnung. Denn – so zeigt es das eingangs vorgestellte Beispiel Fukushimas – Industrieunfälle entfalten ihre Reichweite und Relevanz in der sozialen Aneignung des Geschehens. Im kommunikativen Handeln werden sie zu Katastrophen. Eben diese Transformation des Ereignisses bettet das unfassbare Unfallgeschehen sinnhaft in eine historisch wirksame, gesellschaftliche Erzählung ein. Das Geschehen wird somit in Bezug auf etablierte Formen der Weltaneignung, sogenannte Leitnarrative, geordnet – und trägt damit umgekehrt zu ihrer Stabilisierung bei.

Wie wird ein Ereignis zu einer Katastrophe?

Dem Literatur- und Kulturwissenschaftler Ansgar Nünning folgend, gehen wir davon aus, dass der später als Katastrophe gefasste Unfall lediglich Teil eines zeitlich nicht determinierten, fortlaufenden Geschehens ist. Der Geschehensmoment wird in der Erzählung zunächst zu einem Ereignis und dann zur Katastrophe ausgebildet. Dies geschieht, indem das Ereignis in einen wert- und normengebundenen Sinnzusammenhang eingeordnet wird, der historisch begründet ist. Fortschritt und Wohlfahrt stellen solche Sinnzusammenhänge in der technisch-industrialisierten Moderne dar. Für die folgenden Beispiele, die sich zwischen den 1920er- und 1970er-Jahren ereignet haben,

ebenso wie für die Ereignisse von Fukushima in der jüngsten Vergangenheit sind sie die zentralen Leitnarrative. Eine Wirtschaftskulturgeschichte, wie wir sie in Heidelberg betreiben, kann dazu beitragen, diese Leitnarrative historisch neu zu perspektivieren.

Die Explosion des BASF-Stickstoffwerks in Oppau 1921, die Kesselwagenexplosion bei der BASF 1948 in Ludwigshafen und der Dioxin-Unfall, der sich 1976 in der chemischen Fabrik Icmesa nahe der italienischen Gemeinde Seveso ereignete, haben beispielhaften Charakter für die Industriegeschichte. Alle drei Unglücke hatten verheerende Folgen, die die Menschen nachhaltig erschütterten.

1921 in Oppau trat das zum damaligen Zeitpunkt schwerste Industrieunfall der Geschichte ein. Es forderte 561 Todesopfer und mehr als zweitausend Verletzte. Ganze Gebäudekomplexe der Fabrik verschwanden in einem Trichter von rund hundert Metern Durchmesser und circa zwanzig Metern Tiefe. Nahezu alle Wohnungen in dem nahegelegenen Ort Oppau wurden zerstört. Auch die Folgen des Unglücks 1948 in Ludwigshafen waren fatal – 207 Menschen starben und mehr als 3.800 wurden verletzt; Teile des Werksgeländes und der Stadt wurden zerstört. Ein einschneidendes Ereignis für die Gesellschaft war dieses Unglück aber insbesondere deshalb, weil es sich wenige Jahre nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs ereignete – eine Zeit, in der sich die doppelte Staatsgründung abzeichnete und die wirtschaftliche Lage konsolidierte; die Währungsreform in den drei westlichen Besatzungszonen lag lediglich gut einen Monat zurück.

„Die Betonung von Plötzlichkeit, Unvorhersehbarkeit und Unumkehrbarkeit markiert ein Ereignis als katastrophales Geschehen.“

Der Dioxin-Unfall von 1976, der als Seveso-unglück in die Geschichte einging, wirkte ebenfalls zäsursetzend – insbesondere vor dem Hintergrund der Protestbewegungen der späten sechziger und frühen siebziger Jahre, die partizipative Elemente in der Gesellschaft etablierten, sowie angesichts der bereits schwelenden Vertrauenskrise gegenüber der chemischen Industrie. Infolge einer Explosion in einem Reaktionskessel entlud sich etwa dreißig Minuten lang eine unbekannte Menge Dioxin und vergiftete das Gebiet der Gemeinden Seveso, Meda, Desio und Cesano Maderno – zusammengenommen etwa 1.800 Hektar Land.

„Industrieunglücke entfalten ihre Reichweite erst in der sozialen Aneignung des Geschehens. Im kommunikativen Handeln werden sie zu Katastrophen.“

Die Schilderungen dieser drei Beispiele – darauf sei ausdrücklich hingewiesen – machen die materiellen Schadenswirkungen der Industrieunfälle deutlich. Sie wirken. In der narrativen Transformation werden diese Wirkungen zu Katastrophen(erzählungen). Dies geschieht zunächst durch die sprachliche Konstruktion eines Ereignisses: Ein bestimmter Geschehniszusammenhang wird herausgehoben und als besonders gekennzeichnet. Erzählungen von Industriekatastrophen kennen drei typische Anfänge, die dies leisten: Plötzlichkeit, Unvorhersehbarkeit und Unumkehrbarkeit.

Typische Anfänge von Katastrophenerzählungen

Den ersten möglichen Anfang – die zeitliche Fixierung, die einen bestimmten Moment als turning point markiert – nutzt der Lehrer und Chronist des Ortes Oppau, Karl Braun. Das entsprechende Kapitel seiner Heimatgeschichte beginnt er mit den Worten:

„Am 21. September 1921, morgens 7.32 Uhr, unterbrach die Bahnhofsuhr Ludwigshafen ihren Kreislauf und legte auf die Sekunde den Moment fest, der ein großes Schicksal über Oppau auslöste und unendliches Leid in viele Familien brachte.“

Auf diese Weise ist Plötzlichkeit markiert. Dem Fortschreiten der Zeit als Alltagserfahrung der Menschen wird durch das Bild der stehengebliebenen Uhr die jähe Unterbrechung durch die Katastrophe gegenübergestellt. Es symbolisiert den Moment, in dem die Normalität aussetzt.

Dies verweist auf den zweiten typischen Anfang, mit dem Erzählungen von Industriekatastrophen häufig beginnen: die Betonung der Unvorhersehbarkeit. Auch dieser Anfang spielt mit dem Gegensatz von Normalität und Katastrophe. Er lässt das Grauen bildlich und wörtlich in den Alltag einbrechen. Ein Augenzeuge schildert die Kesselwagenexplosion in Ludwigshafen 1948 in einem Zeitungsbericht der „Schwäbischen Landeszeitung“:

„Es mag wohl halb 4 Uhr nachmittags sein, wir haben Hochsommerhitze und ich bin froh, einen Platz am offenen Fenster [der Straßenbahn] bekommen zu haben. Ich überlege, was ich zu berichten habe, meinem Werk [...]. Da, ein scharfer furchtbarer Knall reißt alles von seinen Sitzen [...]. Die Straßenbahn hat mit einem Ruck gehalten; ich will hinaus.“

Die Schilderung des Nachmittags mit den sommerlichen Temperaturen erweckt die Assoziation von Geruhsamkeit und Gleichmäßigkeit. Mit dem Wort „da“ wird das Unvorhersehbare markiert. Es zerstört die Ordnung im Straßenbahnwagen, reißt die Passagiere von ihren Plätzen.

„Fortschritt und Wohlfahrt sind die zentralen Leitnarrative, in die Industriekatastrophen eingebettet werden.“

Verfolgen wir die Szene weiter, so gelangen wir zum dritten möglichen Anfang einer Krisenerzählung: der Unumkehrbarkeit. Denn der Augenzeuge berichtet nicht davon, dass die Passagiere ihre Plätze wieder einnehmen, die Fahrt fortsetzen. Vielmehr stoppt die Bahn, der Augenzeuge will hinaus. In diesem Beispiel betrifft die Unumkehrbarkeit nur das Verhalten der Menschen, ihre Reaktionen auf den unvorhersehbaren Einbruch des Ereignisses. Doch sie kann – wesentlich weitreichender – auch auf die Folgen der Katastrophe bezogen werden. Genau dies geschieht in einem Bericht des „Spiegel“ vom August 1976 über den Dioxin-Unfall in Seveso:

„In einem 3,2 Quadratkilometer großen Areal, das nun von Stacheldraht umzäunt ist, erstarb das Leben. Vögel stürzten tot vom Himmel. Männer, ver mummt in weißen Schutzanzügen wie in einem Science-fiction-Film, räumten die Kadaver fort von Katzen und Kaninchen, die verendet waren.“

Das Land, das hier beschrieben wird, beheimatete Menschen und Tiere: Nun ist es wüst und leer – lebensfeindlich.

Sich wandelnde historische Sinnzusammenhänge

Zeitliche Fixierung, Unvorhersehbarkeit und Unumkehrbarkeit machen das jeweilige Explosionsgeschehen bedeutsam. Sie markieren es als katastrophales Ereignis und stellen zugleich den Ausgangspunkt der Katastrophenerzählung dar. Die drei Beispiele weisen darauf hin, dass es sich um narrative Formen der Ereigniskonstitution handelt, die historisch stabil sind und in unterschiedlichen Medien Anwendung finden. In den massenmedial geprägten westlichen Gesellschaften erweisen sie sich seit dem ersten „Super-GAU“ der industrialisierten Produktion 1921 in Oppau als konstant und prägen überdies auch die narrative Transformation von Naturkatastrophen. Allerdings kommt es bei der Einbindung von Unumkehrbarkeit und Unvorhersehbarkeit in Katastrophenerzählungen im Laufe der Zeit zu Verschiebungen: Die Unumkehrbarkeit wird bis zum Unglück von Seveso 1976 schwächer formuliert. Das Ereignis erscheint in den älteren Industriekatastrophenerzählungen als Unterbrechung und möglicherweise als Richtungsänderung auf einem Fortschrittsfad. Und auch die Unvorhersehbarkeit erfährt im späten zwanzigsten Jahrhundert Veränderungen. Sie verliert an Bedeutung, verkehrt sich narrativ gar in ihr Gegenteil. Dies wird im Folgenden anhand der sich historisch wandelnden Sinnzusammenhänge, in die das Ereignis eingebunden wird, dargelegt.

1921 ist Fortschritt, trotz der Erfahrungen des Ersten Weltkriegs, das prägende Narrativ. Es konstituiert eine technische Beherrschbarkeit der Natur, die gesellschaftliche Wohlfahrt befördert. Vor dem Hintergrund technischer Entwicklungen der vorangegangenen Jahrzehnte, die pauschal betrachtet zu einer Verbesserung der Lebensverhältnisse

INDUSTRIAL DISASTERS AS A REGULATORY ELEMENT

A CYNICAL CONNECTION

KATJA PATZEL-MATTERN

Few historical developments have changed our economic and social circumstances as profoundly as the Industrial Revolution. People's wealth and quality of life increased measurably – but so did the number of disastrous accidents. Heidelberg scientists have analysed stories of crises over an extended period and come to a conclusion that is nothing short of cynical: Industrial disasters are necessary conditions of our technical-industrialised modern world. They stabilise our order.

The systematic collection and evaluation of crisis stories show that industrial accidents only achieve their full scope and relevance in the social appropriation of the event. They become disasters through communicative action. It is this transformation of the event that incorporates an accident that is beyond comprehension meaningfully into a historically effective social narrative. The event is thereby put in relation to established forms of appropriating the world – known as “Leitnarrative” (leading/defining narratives) – and in turn helps stabilise these narratives.

The key narratives of the technical-industrialised modern world are progress and prosperity. This is evidenced by the first crisis stories in the early 1920s. The first doubts in the progress narrative emerged in the aftermath of the Second World War, and manifested themselves more clearly over time. In the last decades of the 20th century, disasters were regarded primarily as evidence of the limits of growth. They became the symbol of a global threat to nature and humankind. At the same time, however, the idea of mastering nature persevered. Today's progress narrative holds that the consequences of industrial production can be managed; technical progress still ensures social prosperity. ●

PROF. DR. KATJA PATZEL-MATTERN became Professor of Economic and Social History at Heidelberg University in 2009. She studied in Barcelona and Münster, earned her PhD at Münster University and her teaching credentials at Konstanz University in 2008. Dr. Patzel-Mattern is Deputy Managing Director of the Centre for European Historical and Cultural Studies (ZEGK) and, starting in the winter term 2013/2014, a member of the executive committee of the Heidelberg Graduate School for Humanities and Social Sciences (HGGS). She also serves as Equal Opportunities Commissioner at the Faculty of Philosophy. Her research topics are industrial accidents and work relations as elements of industrial history, the history of knowledge and historical time research. She is particularly interested in forms of appropriation and communication of historical experiences.

Contact: katja.patzel-mattern@zegk.uni-heidelberg.de

“Industrial accidents only achieve their full scope and relevance in the social appropriation of the event. Progress and prosperity are the key narratives into which such accidents are embedded.”

„Fortschritt – verstanden als industrielles Wachstum und zunehmende Beherrschbarkeit der Natur – erscheint als Garant der gesellschaftlichen Wohlfahrt.“

führten, erscheint Fortschritt als zeitlich, qualitativ und quantitativ weitgehend unbegrenzt. Wissenschaft und Technik wird zugetraut, neue Problemlagen erfolgreich zu lösen. In dieser Denktradition steht auch das Werk in Oppau. Es war nach dem Ersten Weltkrieg für die künstliche Düngemittelherstellung ausgebaut worden und sollte – in dem durch Gebietsabtretungen verkleinerten Deutschland – einen Beitrag zur langfristigen Sicherung der Ernährung leisten.

In dieses Narrativ des Fortschritts, für den das Unglückswerk in Oppau symbolisch steht, wird das katastrophale Ereignis der Explosion als Störung eingebettet. Carl Bosch äußert sich in diesem Sinne bei der Trauerfeier für die Opfer des Unglücks am 25. September 1921 wie folgt:

„Neue, uns auch jetzt noch unerklärliche Eigenschaften der Natur haben all unseren Bemühungen gespotet. Gerade der Stoff, der bestimmt war, Millionen des Vaterlandes [...] Leben zu bringen, hat sich plötzlich als grimmiger Feind erwiesen aus Ursachen, die wir noch nicht kennen. [...] der Kampf der Menschheit mit den Naturkräften [...] muss ausgefochten werden und selbst heute, noch vor den offenen Gräbern, zwingt uns das unerbittliche Muss bereits wieder auf den Weg weiterer Pflichterfüllung.“

Diese dem Fortschrittsnarrativ verhaftete Überzeugung, dass die Natur wissenschaftlich-technologisch beherrschbar ist, begünstigt den raschen Wiederaufbau des Stickstoffwerks. Bereits 1923 nimmt es die Produktion erneut auf, auch wenn Ammoniak zunächst nicht mehr zu den hier hergestellten Stoffen gehört. Bis 1925 wird Oppau wieder aufgebaut und besiedelt. Die direkte Nachbarschaft von Werk und Ort bleibt bestehen. Fortschritt – verstanden als industrielles Wachstum und eine verbesserte Durchdringung der Naturphänomene – erscheint als Garant der gesellschaftlichen Wohlfahrt.

Erste Zweifel am Fortschrittsglauben

Eine andere Nuancierung ergibt sich, wenn wir die narrative Einbettung der Kesselwagenexplosion in Ludwigshafen 1948 betrachten. Auch hier wirkt die Fortschrittserzählung zunächst weiter. Zeugnis hierfür ist die Rede Valentin Bauers, Oberbürgermeister der Stadt Ludwigshafen, bei der

ZEGK: interdisziplinäre Forschung in den Geschichts- und Kulturwissenschaften

Das 2005 gegründete Zentrum für Europäische Geschichts- und Kulturwissenschaften (ZEGK) erforscht die Geschichte und die kulturellen Errungenschaften Europas und der Neuen Welt vom Frühmittelalter bis in die heutige Zeit. Ihm gehören fünf Institute an: das Historische Seminar, das Institut für Fränkisch-Pfälzische Geschichte und Landeskunde, das Institut für Europäische Kunstgeschichte, das Institut für Religionswissenschaft sowie das Musikwissenschaftliche Seminar. Durch ihren Zusammenschluss im ZEGK verstärken die Fächer ihre Kooperationen, machen Synergieeffekte nutzbar und gewinnen in Lehre und Forschung an interdisziplinärer Kompetenz. Das gemeinsame Zentrum trägt zudem dazu bei, den geisteswissenschaftlichen Schwerpunkt historischer Kulturwissenschaften in Heidelberg zu konturieren und seine Potentiale stärker ins Bewusstsein zu bringen.

Zentrale Anliegen des ZEGK sind der Aufbau interdisziplinärer Forschungsprojekte sowie die Vernetzung mit nationalen und internationalen geschichts- und kulturwissenschaftlichen Lehr- und Forschungsinstitutionen. Unter anderem ist das Zentrum Mitglied in dem „Consortium of Humanities Centers and Institutes“ – einer Plattform für Diskussion rund um das Thema Interdisziplinarität in den Geisteswissenschaften –, dem über 180 Organisationen weltweit angeschlossen sind. Prof. Dr. Katja Patzel-Mattern ist die stellvertretende geschäftsführende Direktorin des ZEGK.

www.uni-heidelberg.de/fakultaeten/philosophie/zegk

Trauerfeier am 3. August 1948. In dieser spricht er von geheimen Kräften der Natur, die die Zerstörung bewirkten, und bekundet Zustimmung zu dem Interesse des Unternehmens, die Produktionsanlagen zu erhalten. Allerdings artikuliert Valentin Bauer in seiner Rede auch erste Zweifel daran, dass sich die Natur vollständig beherrschen lässt. Wie die örtliche „Rheinpfalz“ berichtet, plädiert er dafür, besonders gefährliche Anlagen an einem sicheren Ort unterzubringen, damit die Arbeit zukünftig nicht mehr solche Opfer fordere.

Bemerkenswerter noch als diese erste zaghafte Skepsis gegenüber dem Fortschrittsnarrativ, die vorerst ohne wesentlichen materiellen Niederschlag bleibt, ist die Einbettung der Kesselwagenexplosion in ein zeitlich gebundenes Narrativ: die Westintegration der sich herausbildenden Bundesrepublik und die dafür notwendige Unterstützung der Besatzungsmächte. So zeigt eine gemeinsam von Land, Stadt und Werk herausgegebene Gedenkbroschüre

„Industrielle Katastrophen stabilisieren die Ordnung der technisch-industrialisierten Moderne.“

französische Rote-Kreuz-Schwester bei der Versorgung der Opfer, einen amerikanischen Feldgeistlichen bei der Letzten Ölung, den amerikanischen Sergeant William McKee bei Aufräum- und französische Pioniere bei Rettungsarbeiten. Auch der damalige Ministerpräsident von Rheinland-Pfalz, Peter Altmeier, greift die Unterstützung der westlichen Besatzungsmächte in seiner Rede bei der Trauerfeier auf und lässt sie zum Ausgangspunkt eines Versprechens werden, das zugleich die Helfer bindet: „Unser Volk hat diese ritterliche Hilfsbereitschaft nicht übersehen und wird sie nicht vergessen.“

Diese Einbettung der Kesselwagenexplosion zeigt, dass jenseits der Leitnarrative auch zeitlich determinierte, in ihrer Reichweite begrenztere Erzählformen dazu beitragen, die Erfahrung der Ungewissheit angesichts der Katastrophe zu überwinden und Sinn zu generieren. Anhand des Industrieunfalls wird die Bindung der entstehenden Bundesrepublik an den Westen verhandelt. Überdies verweist die vorgestellte Einbettung auf erste diskursive Widersprüche innerhalb des Fortschrittsnarrativs. Sie werden angesichts des Dioxin-Unfalls von 1976 manifest.

Katastrophen als Symbol für die Grenzen des Wachstums
„Dies ist eine Warnung an alle hochentwickelten Nationen der Welt, ihre Industrien nochmals zu überprüfen. Wir müssen uns klarmachen, ob es Grenzen gibt, über die wir nicht hinausgehen dürfen.“

So gibt der „Spiegel“ im August 1976 Cesare Golfari, Regierungspräsident der Lombardei, wieder. In diesem Zitat spiegelt sich ein wesentlicher Wandel: Der gesellschaftliche Konsens, dass industrielles Wachstum Fortschritt bedeutet und gesellschaftliche Wohlfahrt befördert, ist brüchig geworden. Seit der Club of Rome im Jahr 1972 den Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ veröffentlicht hat, diskutiert die Gesellschaft über die Sinnhaftigkeit des überkommenen Fortschrittsgedankens. Die „Grenzen des Wachstums“ stellen ein alternatives Narrativ dar und leisten die sinn-

hafte Einbettung des katastrophalen Ereignisses von 1976. Daraus folgt eine Katastrophenerzählung, die sich von früheren unterscheidet. In ihr kann der Dioxin-Unfall zu einem „Menetekel“, also einer unheilverkündenden Warnung werden, wie die „Neue Zürcher Zeitung“ schrieb. Das einzelne Ereignis verliert nun in der Industriekatastrophenerzählung seine Singularität.

„Darstellungen jüngerer Unglücke zeigen Zweifel am Fortschrittsglauben: Sie betonen die Grenzen des Wachstums.“

„Seveso ist überall“ – so lautet denn auch der Titel einer Publikation des Wissenschaftsjournalisten Egmont R. Koch und des Chemikers Fritz Vahrenholt aus dem Jahr 1978. Diese Formulierung prägt die Rezeption späterer Unglücke. Sie wird von den unterschiedlichsten Akteuren auf Bhopal, Tschernobyl und Fukushima übertragen und soll die globale Bedrohung durch Giftstoffe zum Ausdruck bringen. Die alternative Einbettung des katastrophalen Ereignisses verändert nicht nur die Erzählung und ihre Perspektiven. Sie beeinflusst auch das Handeln. Ein Beispiel hierfür ist die Umgestaltung des ehemaligen Firmengeländes nahe Seveso: Im Zuge der Dekontamination des Grundstückes wurde 1983 die Einrichtung eines Parks, des Bosco delle Querce, beschlossen. Ein anderes Beispiel ist der Erlass neuer rechtlicher Vorschriften: 1982 verabschiedete die Europäische Wirtschaftsgemeinschaft die sogenannte „Seveso-I-Richtlinie“ zur Verhütung schwerer Betriebsunfälle bei bestimmten Industrietätigkeiten. Sie wurde unter dem Eindruck weiterer industrieller Unglücke zweimal überarbeitet. Im August 2012 ist die aktuelle Fassung, die sogenannte Seveso-III-Richtlinie, in Kraft getreten.

Leitnarrative im Wandel der Zeit

Der Vergleich von Krisenerzählungen zeigt die historische Wandelbarkeit von Leitnarrativen. Dem 1921 dominanten Fortschrittsgedanken tritt 1948 das zeitlich gebundene Narrativ der Westintegration zur Seite. 1976 schließlich werden Industrieunfälle nicht mehr als das plötzliche Einbrechen der Natur in den technisch-industriellen Fortschritt dargestellt. Vielmehr scheinen sie, innerhalb eines alternativen Narrativs, die allgemeine Wohlfahrt zu bedrohen und jene Grenzen des Wachstums zu versinnbildlichen, über die die Gesellschaft seit dem Bericht des Club of Rome diskutiert. Der Industrieunfall wird damit in der Katastrophenerzählung zum „systemischen Phänomen“, wie der Philosoph Paul Virilio sagt. Er ist nicht mehr unvorhersehbar, „sondern etwas Erwartetes und Gefürchtetes, welches dazu tendiert, sich ständig und in zunehmend schnellerem Rhythmus zu wiederholen“. Als Menetekel industrialisierter Gesellschaften bestätigt sein Auftreten innerhalb des Narrativs die Grenzen des Wachstums. Doch der historische Vergleich verdeutlicht auch die Beständig-

keit des Fortschrittsgedankens. Obwohl die sinnhafte Einbettung von industriellen Katastrophen seit 1976 einem alternativen Narrativ folgt, hat der Glaube an die technische Beherrschbarkeit der Natur Bestand. Davon zeugt die Seveso-Richtlinie. Ihre Aufgabe ist es laut Homepage der Europäischen Union, „schwere Unfälle mit gefährlichen Stoffen zu verhüten“ und „ein hohes Schutzniveau zu gewährleisten“. Die negativen Folgen industrieller Produktion, die nach wie vor gesellschaftliche Wohlfahrt sichere, könnten begrenzt werden, so die Aussage des modifizierten Fortschrittsnarrativs; der technische Fortschritt sichert nach wie vor die gesellschaftliche Wohlfahrt. Die Wirksamkeit dieses Narrativs zeigt auch das eingangs genannte Beispiel der Nuklearkatastrophe von Fukushima. Zwei Jahre nach den Kernschmelzen plädiert die Regierung unter Ministerpräsident Shinzo Abe mit dem Argument stabiler Energieversorgung für eine Rückkehr zur Atompolitik. Die Katastrophenerzählung stabilisiert die Ordnung der technisch-industrialisierten Moderne. ●

WE ARE

**MOVING
TO**

BROOKLYN!

WE ARE MOVING TO BROOKLYN!

SPRACHMUSTER UND MOBILITÄT

BEATRIX BUSSE

Städte sind Orte großer Dynamik und mannigfaltiger sozialer Spannungen. Globale Prozesse wie der demografische Wandel, aber auch soziale Umstrukturierungen in Wohngebieten verstärken den per se heterogenen Charakter einer Stadt. Dieser zeigt sich in dem, was in der Stadt getan wird – etwa in Bauvorhaben –, aber auch in dem, was Menschen über ihre Stadt sagen. Bei genauerer Betrachtung lassen sich hierin wiederkehrende sprachliche Muster identifizieren, die den städtischen Charakter ihrerseits prägen. Sprache, genauer Sprachmuster und deren Abweichungen erschaffen somit Identität.

B

Bewohner und Beobachter von Städten beschreiben, bewerten oder schreiben sich in urbane Räume mit einer Vielzahl von Zeichen und Aussagen ein. Aspekte von kulturellem Erbe, Zugehörigkeit und Identität werden so in fortschreitenden und aufeinander aufbauenden Erörterungs- und Diskussionsprozessen ausgehandelt. Diese Praktiken sind sprachlich musterhaft, sie können aber auch von bestimmten Mustern abweichen und wandelbare Charakteristika oder Werte aufweisen – vor allem dort, wo die Stadt ein Raum des Ankommens, des Transfers und der Migration ist und Mobilität in der Alltagserfahrung vieler Stadtbewohner nicht wegzudenken ist.

Diskursive musterhafte Praktiken, die einen speziellen urbanen Ort erschaffen und ihn mit identitätsstiftenden Eigenschaften ausstatten, bezeichne ich als Praktiken des place-making. Meine Darstellung am Beispiel des New Yorker Stadtteils Brooklyn zeigt, dass diese Prozesse auf vielschichtigen und komplexen Wertzuschreibungen beruhen. Wiederkehrende linguistische und andere zeichengebundene Aussagen in ausgewählten Bezirken von Brooklyn reflektieren und konstruieren heute Charakter, kulturelles Erbe und sozialen Wert sowie Brooklyn© als Marke.

„No go“ oder Kult?

Brooklyn ist mit seinen etwa 2,5 Millionen Einwohnern einer der sozial, religiös und ethnisch heterogensten Bezirke New Yorks. Praktiken der Ortserschaffung in den sogenannten neighborhoods des Stadtteils zu erforschen, stellt sich somit als Herausforderung dar. So wird Brooklyn in einem Kontinuum mit den unterschiedlichsten positiven wie negativen, alten und neuen Assoziationen und Wertzuschreibungen belegt, wie folgende zwei Beispiele veranschaulichen.

In einer Episode der TV-Serie „Sex and the City“ aus dem Jahr 2004 bezeichnet eine der Protagonistinnen, die überzeugte Manhattanite Miranda, Brooklyn etwa als „no go“. Um keinen Preis will sie von Manhattan nach Brooklyn umziehen und erklärt dies ihrem Partner Steve mit den sprachlichen Mitteln der Verneinung und des Vergleichs – zwei, wie noch zu zeigen sein wird, typische sprachliche Muster zur Ortserschaffung:

HGGS: fächerübergreifender Dialog in den Geistes- und Sozialwissenschaften

Die 2008 eröffnete Heidelberger Graduiertenschule für Geistes- und Sozialwissenschaften (HGGS) steht für innovative und interdisziplinäre Forschung. Sie bietet ein strukturiertes Promotionsprogramm an, das bestehende Netzwerke interdisziplinärer Forschung an der Universität Heidelberg produktiv nutzt und einen fächerübergreifenden Dialog ermöglicht. Hierzu vernetzt sie folgende Fakultäten und Expertengruppen: Die Theologische, die Philosophische sowie die Neuphilologische Fakultät, das Exzellenzcluster „Asia and Europe in a Global Context“ und den Sonderforschungsbereich „Materiale Textkulturen“, des weiteren die Juristische Fakultät, die Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften sowie die Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften. Die HGGS bietet ihren Doktoranden eine intensive Betreuung durch einen Coach oder Mentor, Zugang zu nationalen und internationalen Netzwerken sowie jährlichen internationalen Konferenzen und ein umfangreiches Angebot an interdisziplinären Seminaren, Vorträgen und Workshops. Sprecherin der Graduiertenschule ist Prof. Dr. Beatrix Busse.

www.hggs.uni-heidelberg.de

„Steve, we’re not moving to Brooklyn. I’m a Manhattan girl, I don’t like anything not Manhattan.“

Im Gegensatz dazu erscheinen zumindest in jüngerer Zeit insbesondere diejenigen Bezirke Brooklyns, die sich in der Nähe des East River befinden und Manhattan zugewandt sind, nicht mehr länger als die billigen, unauffälligen und als soziale Brennpunkte kodierten Arbeiter- und Einwandererareale in der Nähe der Docks. Im Gegenteil: Neighborhoods wie Dumbo, Park Slope, Brooklyn Heights und Williamsburg sind inzwischen gentrifiziert und haben den Ruf, junge Künstler, Autoren und aufstrebende Computerexperten anzuziehen, familienfreundlich, alternativ, umwelt- und ernährungsbewusst zu sein sowie kreatives Potential zu entfalten. Diese Formen des modernen Ideenreichtums, die im Gegensatz zu der in Manhattan vorherrschenden Banker- und Konsumszene stehen, werden in einem Zitat des Magazins „The New Yorker“ aus dem Jahre 2010 spielerisch als cult bezeichnet:

„If Brooklyn were a country, its chief exports would include artisanal pickles, eco-friendly yoga wear, Red Hook-made Saipua soap, and books written by men named Jonathan [...]. If Brooklyn were a cult, it would be – hold on. Brooklyn is a cult.“



„Leaving Brooklyn – Fuhgeddaboutit“: „Willst du Brooklyn verlassen? – Vergiss es!“

„Do you live in this area? How would you describe this area? Why did you move to this area?“

Stadt versus Urbanität

Der Bremer Linguist Ingo H. Warnke und ich haben ein interdisziplinäres Urbanitätsmodell entwickelt, in dem Urbanität durch drei Modi beschrieben wird: Dimension, Aktion und Repräsentation. Während Dimension die räumlichen Koordinaten der Stadt erfasst, soll Aktion die Praktiken und Handlungen in der Stadt beschreiben. Repräsentation schließlich meint die zeichengebundenen und sprachlichen Kodierungen in der Stadt. Um darüber hinaus die vielfältigen Strukturen von Städten zu erfassen, ist der urbane Raum durch die übergreifenden Eigenschaften von Komplexität und Widersprüchlichkeit beschrieben. Urbanität ist somit eine In-Wert-Setzung, ein Bewertungszusammenhang, der variabel musterhaft sein kann und der sich vom Terminus „Stadt“ als eine räumliche Formation definierter Größe absetzt.

Sprachliche Handlungen sind – neben anderen Praktiken wie Bauen und Bewegung – Faktoren, die Urbanität erschaffen und reflektieren. Dabei geht es nicht um die Herstellung eines urbanen Raums, sondern um die Herstellung von Orten, also um „Ortsschaffung“ – sogenanntes place-making. Während Raum eine kontextfreie, räumliche Dimension ist, ist Ort eine spezifische Formation, die entsteht, wenn handelnde Personen in einen Raum investieren und in ihm interagieren. Dieser spezifische Raumtyp erhält definierbare Eigenschaften und hat unterschiedlich wahrnehmbare Charakteristika. Orte sind also in unserem Modell auch Funktionen der drei Modi Dimension, Aktion und Repräsentation. Und Sprache ist Parameter ebenso für urbane Variation wie auch Parameter dafür, wie Urbanität durch deklarative Sprechakte konstruiert wird.

Place-making: Brooklyn© als Marke

Welche musterhaften Praktiken lassen sich also im place-making erkennen? Wer Brooklyn auf einem Highway verlässt oder die Brooklyn Bridge nach Brooklyn zu Fuß überquert, sieht Verkehrsschilder, die zum place-making beitragen und Brooklyn© als Marke konstruieren. Durch das musterhafte Zitieren von fixen oder authentischen Brooklyn-Phrasen legen sie einen Brooklyn-eigenen Charakter fest. So steht etwa auf dem Gowanus Expressway ein Verkehrsschild mit der Aufschrift „Leaving Brooklyn – Fuhgeddaboutit“.

„Leaving Brooklyn – Fuhgeddaboutit“: „Willst du Brooklyn verlassen? – Vergiss es!“

Dies ist ein urbaner, umgangssprachlicher und ursprünglich italienisch-amerikanischer Ausdruck, der vor allem mit „Brooklyn speech“ oder „local lingo“ assoziiert wird und etwa mit „Willst du Brooklyn verlassen? – Vergiss es!“ übersetzt werden kann. Er ist hier so geschrieben, wie „Forget about it“ im Brooklyn-Akzent („Fuhgeddaboutit“) ausgesprochen wird. Ganz bewusst folgt die Darstellung auf dem Schild dabei weder den gängigen Rechtschreib-

regeln noch einem lautlichen Standard (etwa dem General American). Das Schild setzt das Selbst- und Identitätsbewusstsein der Brooklynites in Szene, indem es einen Ausdruck verwendet, der Brooklyn-weit gebräuchlich ist und ikonischen Charakter hat. Diese Funktion der Straßenschilder beschreibt auch der Präsident des Stadtteils, Marti Markowitz, im Jahre 2006:

„Once you enter Brooklyn, there's no good reason why you should ever leave. [...] These signs are just another great example of the Brooklyn attitude, and they capture the spirit, energy and enthusiasm alive and well all across Brooklyn. It also gives people one last chance to turn their cars around and stay in the promised land.“

Der Gebrauch von umgangssprachlichen, lokal gebräuchlichen Ausdrücken auf öffentlichen Straßen- und Highway-schildern illustriert somit auch das Zusammenspiel der drei Modi des Urbanitätsmodells – Dimension, Aktion und Repräsentation. Die Schilder sind bewusst im geographischen Raum angebracht und werden sichtbar, indem wir uns in diesem Raum bewegen; sie kodieren den Charakter Brooklyns und schreiben ihn förmlich in die Stadt ein.

Diese Form des Sich-Einschreibens in einen Ort kann mit dem sogenannten enregisterment (dem „Einregistrieren“) in Beziehung gesetzt werden – einem Konzept, das ideologische Prozesse beschreibt, in denen linguistische Marker, die von Sprechern einer Sprachgemeinschaft wiederholt verwendet werden, mit bestimmten sozialen Kategorien oder Identitäten verbunden werden. Enregisterment stellt somit auch eine bestimmte musterhafte, da wiederkehrende Form der Ortserschaffung, also place-making, dar. Denn indem eine Sprachgemeinschaft bestimmte positive und identitätsstiftende Werte mit ihnen verbindet, kreieren diese sprachlichen Markierungen einen urbanen Ort. Durch Bewegungen und den Vergleich mit Sprachpraktiken anderer Sprachgemeinschaften entfalten die Marker schließlich eine ortsschaffende Wirkung. Dies geschieht durch die Verbindung von bestimmten Ausdrücken mit historischen, nostalgischen, lokalen oder eben den bereits erwähnten mundartlichen Konstruktionen, die kulturell wertvoll sind und so auch kulturelles Erbe darstellen.

Ein historisch motiviertes Muster des enregisterment als Form der Ortserschaffung findet sich auch in dem Straßenschild „Welcome to Brooklyn – How Sweet It Is!“ an der Brooklyn Bridge. „How sweet it is“ war die sogenannte catchphrase des Brooklyn Entertainers und TV-Stars Jackie Gleason, dessen Fernsehshow „Honeymooners“ aus Bensonhurst, Brooklyn, sich vor allem in den 1950er-Jahren großer Beliebtheit erfreute. Sein Zitat auf diesem Highwayschild, das von unzähligen Autofahrern und Fußgängern wahrgenommen wird, praktiziert enregisterment und deklariert die Marke Brooklyn© durch authentische

linguistische Eigenschaften eines prominenten Brooklynite sowie durch einen nostalgischen Rückbezug auf das Alte.

Einschreibung der Marke Brooklyn©

Neben dem wiederkehrenden Muster, authentische, nostalgische, vom Dialekt geprägte oder historische Phrasen und Ausdrücke in der semiotic landscape zur Ortserschaffung zu verwenden, kann place-making auch durch Sprachmuster auf allen standardsprachlichen Ebenen praktiziert werden. Dieser Bereich ist in der Forschung bislang vernachlässigt worden. Daher haben wir im Urbanitätsmodell für uns den Anspruch formuliert, Massenmedien und große Mengen realer sprachlicher Äußerungen – oftmals zusammengestellt in sogenannten Sprachkorpora – sowie singuläre zeichengebundene und andere Formationen zu analysieren. Hierzu habe ich unter anderem Interviews mit 58 Brooklynites durchgeführt und sie mit Hilfe meines Teams zu einem Sprachkorpora von 33.117 Wörtern transkribiert. Die Fragen, mit denen die Interviews eingeleitet wurden, lauteten:

Do you live in this area?
How would you describe this area?
Why did you move to this area?

Diese erste Datensammlung ist Teil einer groß angelegten Studie zu musterhaften Praktiken der Ortserschaffung in Brooklyn, die auch der Heterogenität des Stadtteils Rechnung tragen soll. Um die Befunde aus dem Brooklyn-Interview-Korpus einordnen zu können, ist es notwendig, ein Referenzkorpora heranzuziehen, das aus Daten des gleichen Genres, innerhalb der gleichen Varietät (hier American English) und aus ungefähr der gleichen Zeit zusammengesetzt ist. Hierzu dient uns das Charlotte-Subkorpora des American National Corpus. Mithilfe spezialisierter Software können wir dann zum Beispiel bestimmte Schlüsselwörter, sogenannte keywords, in beiden Textkorpora ermitteln und miteinander vergleichen. Der sogenannte

RANK	KEYWORD	ABSOLUTE HÄUFIGKEIT	KEYNESS-WERT
1	like	667	719,09
2	Brooklyn	167	717,62
3	it's	394	585,80
4	Manhattan	88	351,28
5	here	195	319,22
6	more	153	260,24

Abbildung 1
Keywords im Brooklyn-Interview-Korpus

Keyness-Wert gibt dabei die Qualität eines Wortes an, also inwieweit es in einem bestimmten Kontext oder Text „key“, das heißt prominent markiert ist.

Eines der wiederkehrenden sprachlichen Muster, die ich im Brooklyn-Interview-Korpus identifizieren konnte, ist die häufige Nennung des Schlüsselwortes „Brooklyn“ (siehe Abbildung 1 links). Man könnte einwenden, dass dies voraussehen ist, denn schließlich haben wir unsere Interviewpartner in diesem Bezirk und über diesen Bezirk befragt. Allerdings hätten meine Gesprächspartner auch andere lokale Referenzmarker verwenden können, etwa die expliziten Namen für die jeweilige Wohngegend wie zum Beispiel Park Slope oder Williamsburg. Die kollektive Referenz Brooklyn verweist dagegen auf den Stadtteil als Ganzes, der – personifiziert – sich tatsächlich zu einer Marke entwickelt hat.

„I think like that is why Brooklyn is getting so much press, and it is like it is and then like with Brooklyn industries the clothing brand that is like there is more of an awareness of Brooklyn now and it is almost become a brand.“

Dieser und alle weiteren Auszüge aus den Interviews repräsentieren die wörtlichen Transkriptionen der mündlichen Umgangssprache. Sie zeigen unter anderem die für einige amerikanische Dialekte typische und musterhafte Wiederholung des keywords „like“. Gleichzeitig wird deutlich, dass Brooklyn häufig als Subjekt eines relationalen Satzes der Form „Brooklyn is“ oder „it is“ vorkommt. Relationale Sätze beschreiben einen Prozess des Seins, in dem ein Subjekt (hier Brooklyn) mit einer weiteren Eigenschaft spezifiziert wird. In „Brooklyn is having a big revival. It is very hot“ wird Brooklyn als personifizierter Ort kreiert, der agiert und anzieht. Das Adjektiv „hot“ beschreibt hier keine geographische Dimension oder Temperatur, sondern eine menschliche Erfahrung der Attraktivität.

Place-making: Brooklyn© vs. Manhattan

In der eingangs zitierten Episode aus „Sex and the City“ ist bereits der diskursiv kreierte Antagonismus zwischen Brooklyn und Manhattan deutlich geworden. Diese Konstruktion ist in meinen Interviewdaten ebenfalls musterhaft. Einerseits wird sie durch die häufige Nennung Manhattans – auch ein keyword – realisiert. Andererseits wird der Vergleich von Brooklyn mit Manhattan immer wieder durch den gleichsam bedeutsamen Schlüsselbegriff „more“ illustriert. Die von den Interviewpartnern genannten Qualitäten, die Brooklyn positiv von Manhattan unterscheiden, sind dabei ökonomische Kriterien und Aspekte des Lifestyles:

„It's like much more affordable Brooklyn still and you got a lot more space.“



PROF. DR. BEATRIX BUSSE wurde im Jahr 2011 an das Anglistische Seminar der Universität Heidelberg berufen. Ihre wissenschaftliche Laufbahn begann mit einem Lehramtsstudium in den Fächern Englisch und Geschichte an den Universitäten Osnabrück und Keele. 2004 folgte die Promotion am Englischen Seminar der Universität Münster, an dem sie sieben Jahre als wissenschaftliche Mitarbeiterin tätig war. Auslandsaufenthalte führten sie nach Birmingham, Stratford und Lancaster, unter anderem mit einem Stipendium der British Academy. Von 2008 bis 2010 lehrte und forschte sie an der Universität Bern, an der sie auch ihre Habilitation abschloss. Im Zentrum ihres Forschungsinteresses stehen die Geschichte der englischen Sprache, historische Pragmatik und Soziolinguistik, die Korpuslinguistik, die Erforschung des urbanen Raums sowie die Disziplin Stylistics. Zudem ist Beatrix Busse Sprecherin der Heidelberger Graduiertenschule für Geistes- und Sozialwissenschaften (HGGS).

Kontakt: beatrix.busse@as.uni-heidelberg.de

Was sind Muster?

Muster haben erkennbare, reguläre und bisweilen symmetrische Strukturen. Muster sind Motive, die sich wiederholen. Muster können so geformt sein, dass sie als Modell oder Lösungsschablone fungieren. Gleichzeitig sind Muster Sequenzen, die sich beispielsweise in bestimmten Prozessen, Diskursen oder Materialitäten zeigen und bestimmte Formen charakterisieren. Handelnde Personen erkennen, erlernen und bewerten Muster, sie kreieren Parameter der Musterformierungen sowie der Musternormierungen. Ein Konzept von Mustern umfasst wechselseitig Abweichungen von bestimmten Strukturen ebenso wie Wandlungsprozesse über Zeit, Raum und Kontext sowie die Beschreibung und Bewertung solcher Prozesse. Gleichzeitig können Abweichungen oder Mutationen zu neuen Funktionen von Mustern führen, die wiederum neue Bedeutungen hervorrufen und unterschiedlich bewertet werden können.

Muster in der sprachwissenschaftlichen Forschung

Immer mehr Gebiete in der Sprachwissenschaft erkennen die Eigenschaft von Sprache an, Muster auszubilden und zu verwenden, aber dennoch nicht ausschließlich nach Regeln zu funktionieren. Neuere Ansätze beispielsweise gehen davon aus, dass Sprache durch das Erkennen von Gepflogenheiten im täglichen Umgang erworben wird. Ein Sprachwandel erklärt sich folglich durch Prozesse, in denen Sprachmuster individuell angeeignet, leicht variiert und schließlich selektiert werden.

Forschungsansätze, die von einem solchen Sprachverständnis ausgehen, untersuchen unter anderem, wie wiederkehrende sprachliche und semiotische Muster Bedeutungen kreieren und wie diese vom Leser oder Hörer wahrgenommen werden. Sie arbeiten dabei sowohl qualitativ mit singulären Sprachsituationen als auch quantitativ mit großen Mengen realer sprachlicher Äußerungen, den Textkorpora. Letztere werden deshalb als korpuslinguistische Ansätze bezeichnet. Eine ihrer wichtigsten Erkenntnisse ist es, dass Wörter in Zusammenhang mit anderen lexikalischen Einheiten funktional musterhaft sind und nicht länger individuell betrachtet werden sollten. Sie bilden zum Beispiel das, was in der Forschung als cluster, lexical bundles oder collocations bezeichnet wird.

„I just like the life style better in Brooklyn. I feel like you get more for your money, it is a little bit more laid-back.“

Darüber hinaus wird das subjektive Gefühl von Zuhause und der Gemeinschaft in Brooklyn immer wieder durch den Kontrast zu Manhattan in den Vordergrund gerückt. Während Manhattan als non-place im Sinne des französischen Ethnologen Marc Augé konstruiert wird, besitzt Brooklyn alle Eigenschaften, die es zu einem anthropologischen Ort machen:

„Actually, probably, it's a completely different atmosphere. I think it's [...] less citified than Manhattan.“

„Manhattan is gross. Brooklyn is just like, it's more like community, it's more like neighborhoody. Ahm, you can turn off here in Brooklyn, sometimes. You always have to be like on and working and networking when you are in Manhattan. So it's a little bit more relaxed, we just like the vibe better and we like the neighborhoody aspect of it.“

Die Brooklynites verwenden außerdem gern die linguistische Konstruktion der Verneinung, um Brooklyn in Opposition zu Manhattan zu setzen. Folgendes Zitat betont etwa die emotionalen Vorzüge Brooklyns, die Manhattan nicht zu bieten hat:

„I wouldn't wanna live in Manhattan, it's like that spaces is, there is no green, there is no parks.“

Psycholinguistische und kognitiv-linguistische Studien haben gezeigt, dass negative Konstruktionen immer auch den positiven Gegensatz implizieren. Mit anderen Worten: Man denkt in Brooklyn zumindest Manhattan mit und vergleicht den einen Distrikt mit dem anderen.

Interdisziplinäre Relevanz von Mustern

Am Beispiel Brooklyns zeigt sich, wie komplexe Sprachmuster eine Marke erzeugen – die Marke Brooklyn©. Sprachliche Muster und deren Abweichungen erschaffen also Bedeutungen, Orte und Charakter. Das sogenannte place-making findet dabei laut dem Urbanitätsmodell in den Modi von Dimension, Aktion und Repräsentation statt und ist somit ein in sich interdisziplinärer Ansatz.

Muster bestimmen jedoch nicht nur sprachliche, sondern auch historische, soziale, kulturelle, psychologische, kognitive wie auch diverse naturwissenschaftliche Prozesse und sind umgekehrt Ergebnis solcher Prozesse und Praktiken. Allerdings ist bislang kaum erforscht, inwieweit sich Muster und die Bildung von Mustern in verschiedenen Disziplinen ähneln und inwieweit sie voneinander abweichen. Gemeinsam mit Wissenschaftlern aus der Kunsthistorik, der Humangenetik und der Physik möchte ich derartige Fragen künftig stärker in den Fokus nehmen. ●

„Sprachliche Muster und deren Abweichungen erschaffen Bedeutungen, Orte und Charakter.“

Marsilius-Kolleg: Brücken zwischen Disziplinen bauen

Als „Center for Advanced Study“ gehört das Marsilius-Kolleg zu den zentralen Maßnahmen des Zukunftskonzepts, mit dem die Universität Heidelberg in beiden Runden der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder erfolgreich war. Es trägt dazu bei, wissenschaftlich tragfähige Brücken zwischen verschiedensten Fächerkulturen zu schlagen, um auf diese Weise die Idee einer Volluniversität der Zukunft entscheidend zu fördern. Das Marsilius-Kolleg versteht sich als Ort der Begegnung und der Innovation, an dem disziplinübergreifende Forschungsprojekte realisiert werden.

Etwa zwölf Fellows der Universität Heidelberg werden jedes Jahr an das Marsilius-Kolleg berufen, um sich fundamentalen Fragestellungen aus interdisziplinärer Perspektive zu widmen. Aus ihren Diskussionen gehen die sogenannten Marsilius-Projekte hervor, die die einjährige Zusammenarbeit der Fellows in längerfristige fächerübergreifende Forschungsverbände überführen. Das Marsilius-Kolleg errichtet auf diese Weise ein forschungsbasiertes Netzwerk zwischen den Lebens- und Naturwissenschaften einerseits und den Sozial-, Rechts-, Geistes- und Kulturwissenschaften andererseits.

Aktuell widmet sich eine Fellowgruppe des Marsilius-Kollegs auf Initiative von Prof. Dr. Beatrix Busse dem Projekt „Muster in Sprache und Kognition, Kultur und Natur – Emergenz und Mobilität“.

www.marsilius-kolleg.uni-heidelberg.de

LANGUAGE PATTERNS AND MOBILITY

WE ARE MOVING TO BROOKLYN!

BEATRIX BUSSE

A city is never a homogeneous unit. Rather, it is characterised by a multitude of social tensions, practices and dynamics that are closely connected with global processes such as demographic change, the social restructuring of residential neighbourhoods or the separation of inhabitants along religious, ethnic or social lines. Additional factors include local traditions and personal ties, affiliations and historically founded characteristics. The resulting complex interaction of social formations manifests itself in the activities of the city – for instance construction projects –, but also in what is said about the city.

Inhabitants and observers of cities use many different signs and statements to describe, evaluate or leave their mark on urban spaces. Aspects of cultural heritage, affiliation and identity are thus negotiated in progressive and interdependent debates and discussions. These practices usually follow certain patterns of language, but they may also deviate from such patterns and exhibit variable characteristics and values – especially in those places where the city is a place of arrival, transfer and migration and where mobility is part of the residents' everyday lives.

Discursive practices that follow certain patterns and are used to create a special urban place and endow it with specific and identity-defining characteristics are also called place-making practices. The author uses the New York borough of Brooklyn as an example to show that this process is based on many-faceted and complex value assignments. Recurring linguistic and other sign-based statements in selected districts of Brooklyn today form and express character, cultural heritage, social value and the Brooklyn© trademark. ●

PROF. DR. BEATRIX BUSSE joined Heidelberg University's Department of English in 2011. Her academic career began with a teaching degree in English and history following her studies at the universities of Osnabrück and Keele. In 2004, she earned her PhD at the Department of English of Münster University, where she worked as a research assistant for seven years. She completed several stays abroad – in Birmingham, Stratford and Lancaster – that were funded in part by a scholarship of the British Academy. The years 2008–2010 saw her at Bern University, where she also earned her teaching credentials. Prof. Busse's research interests are the history of the English language, historical pragmatism and sociolinguistics, corpus linguistics, the study of the urban space, and the discipline of stylistics. In addition to her research and teaching responsibilities, Beatrix Busse is also Speaker of the Heidelberg Graduate School for Humanities and Social Sciences (HGGS).

Contact: beatrix.busse@as.uni-heidelberg.de

“City dwellers leave their mark on urban spaces with a multitude of pattern-based signs and statements, thereby creating meanings, places and character.”

Herausgeber

Universität Heidelberg
Der Rektor
Kommunikation und Marketing

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Peter Comba (Vorsitz)
Prof. Dr. Beatrix Busse
Prof. Dr. Markus Hilgert
Prof. Dr. Georg F. Hoffmann
Prof. Dr. Dr. h.c. Paul Kirchhof
Prof. Dr. Marcus A. Koch
Prof. Dr. Carsten Könneker
Prof. Dr. Alexander Marx
Prof. Dr. Manfred G. Schmidt
Prof. Dr. Joachim Wambsganß

Redaktion

Marietta Fuhrmann-Koch
(verantwortlich)
Ute von Figura (Leitung)
Claudia Eberhard-Metzger
Adam Gristwood

Gestaltung und Reinzeichnung

KMS TEAM GmbH, München

Anzeigen

SIGNUM communication
Werbeagentur GmbH, Mannheim

Druck

ColorDruck Leimen

Auflage

6.000 Exemplare

ISSN

0035-998 X

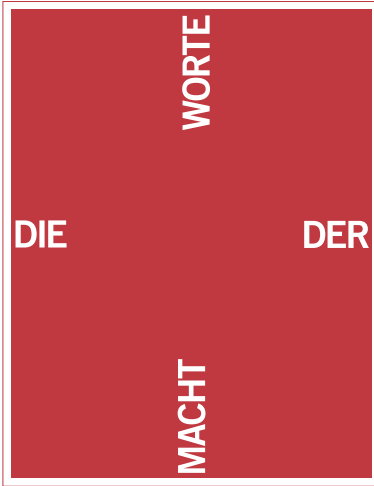
Vertrieb

Universität Heidelberg
Kommunikation und Marketing
Grabengasse 1, 69117 Heidelberg

Tel.: +49 6221 54-19026
kum@uni-heidelberg.de

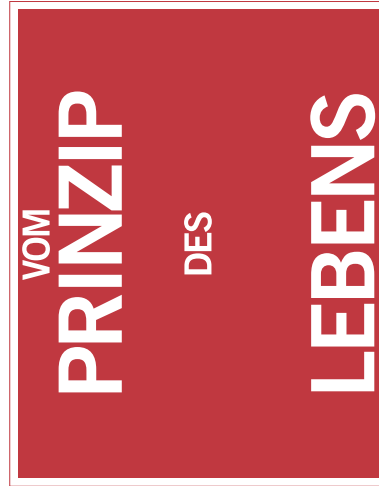
Das Magazin kann kostenlos unter
der oben genannten Adresse abon-
niert werden.

www.uni-heidelberg.de/ruptocarola



PSYCHOLINGUISTIK
**DIE MACHT DER WORTE
SPRACHE STEUERT DEN BLICK**
CHRISTIANE VON STUTTERHEIM & JOHANNES GERWIEN

86



MOLEKULARBIOLOGIE
**VOM PRINZIP DES LEBENS
IM MIKROKOSMOS DER STAMMZELLEN**
ANTHONY HO & THOMAS W. HOLSTEIN

94



ENTWICKLUNGSBIOLOGIE
**AM ANFANG WAR DIE ZELLE
CHAOS ALS ORDNUNGSPRINZIP?**
JOCHEN WITTBRODT

102



MEDIZIN
**AUS DEM TAKT
DER RHYTHMUS DES HERZENS**
EBERHARD SCHOLZ & HUGO A. KATUS

110

STRUKTUREN UND PRINZIPIEN



DIE

MACHT

WORTE

DER

DIE MACHT DER WORTE

SPRACHE STEUERT DEN BLICK

CHRISTIANE VON STUTTERHEIM & JOHANNES GERWIEN

Tag für Tag prasseln unzählige Sinneseindrücke auf uns ein. Indem wir anderen Menschen unsere Eindrücke mitteilen, strukturieren wir das Erlebte und sortieren es in unsere Erfahrungswelt ein. Wie aber lässt sich erklären, was und auf welche Art und Weise wir uns mitteilen, welche Erlebnisse wir hervorheben und welche wir weglassen? Linguisten der Universität Heidelberg haben einen wichtigen Beitrag zur Klärung dieser Frage geleistet. Anhand sprachvergleichender Studien konnten sie nachweisen, dass die Struktur unserer Sprache unseren Blick steuert. Das *Wie* des Ausdrucks bestimmt folglich einen wesentlichen Teil der menschlichen Kognition.

D

„Die alles umfassende Gesamtheit der menschlichen Rede widersetzt sich der Erkenntnis, weil sie nicht gleichartig ist.“

Ferdinand de Saussure

„Ein Auto fährt auf einer Straße“, „Ein Auto fährt zu einem Dorf“ oder auch „Jemand fährt in einem weißen Auto über eine Landstraße in Richtung einer Siedlung“ – mit allen drei Sätzen können wir ein und dieselbe Situation beschreiben. Die Sprache stellt uns scheinbar unendlich viele Möglichkeiten zur Verfügung, einen Sachverhalt zu verbalisieren. Dabei variieren die genannten Beschreibungen – nur drei Beispiele von vielen – stark in der Informationsauswahl und im Grad der Genauigkeit. So wird im ersten Satz angegeben, wo die Bewegung des Fahrzeugs



PROF. DR. CHRISTIANE VON STUTTERHEIM wurde im Jahr 2000 als Professorin für Germanistische Linguistik an das Institut für Deutsch als Fremdsprachenphilologie der Universität Heidelberg berufen. Ihr Studium in den Fächern Germanistik, Geschichte, Politik und Philosophie absolvierte sie an den Universitäten Marburg und München. 1984 reichte sie ihre Dissertation an der FU Berlin ein, 1996 erfolgte die Habilitation in Heidelberg. Christiane von Stutterheim erforscht die psycholinguistischen Aspekte der Sprachproduktion unter sprachvergleichender Perspektive, den Zusammenhang zwischen sprachlichen und nichtsprachlichen kognitiven Prozessen sowie Bilingualismus und Spracherwerb. Für ihre wissenschaftliche Arbeit erhielt sie in den vergangenen Jahren Förderungen in zahlreichen nationalen und internationalen Projekten. 2011/12 war sie Fellow des Lichtenberg-Kollegs in Göttingen.

Kontakt: stutterheim@idf.uni-heidelberg.de

stattfindet; im zweiten Beispiel fehlt diese Information, dafür wird das Ziel der Bewegung genannt; das dritte macht insgesamt genauere Angaben. Vor gut hundert Jahren stellte der bedeutende Sprachwissenschaftler Ferdinand de Saussure hierzu programmatisch fest: „Die alles umfassende Gesamtheit der menschlichen Rede widersetzt sich der Erkenntnis, weil sie nicht gleichartig ist.“

Sprachverarbeitung verläuft hochgradig automatisiert

Wenn die menschliche Rede tatsächlich im Sinne Saussures chaotisch wäre – also keiner erkennbaren Systematik in Inhalts- und Formgestaltung folgen würde –, dann ließe sich schwer erklären, wieso wir alle in enormer Geschwindigkeit zielgerichtet Sprache verwenden können. Der Mensch spricht im Schnitt zwei bis vier Wörter in der Sekunde, die er fortwährend richtig aus einem mentalen Lexikon mit gut hunderttausend Einträgen auswählen muss. Um sie verständlich zu artikulieren, muss er zudem mehr als hundert Muskeln koordiniert betätigen. Dabei sind Fehler selten. Führt man sich diese Zahlen vor Augen, wird unmittelbar klar, dass Sprachverarbeitungsprozesse hochgradig automatisiert und prinzipiengesteuert verlaufen müssen.

Der Versprachlichung im engeren Sinn – in der Psycholinguistik sprechen wir von der Formulierung – muss die Inhaltsplanung, Konzeptualisierung genannt, vorausgehen. Einen wahrgenommenen Sachverhalt in Sprache auszu-drücken erfordert, aus der Vielzahl der Sinneseindrücke bestimmte Komponenten herauszufiltern und gleichzeitig andere auszuwählen, die man in die Formulierung einbringen möchte. Wir versprachlichen immer nur einen geringen Teil der Gesamtinformation, die uns aus Wahrnehmung und Gedächtnis zur Verfügung steht. Das gilt für den Fußballreporter im Radio ebenso wie für jemanden, der eine Wegauskunft gibt oder der erzählt, was ihm vor einigen Tagen auf einer Reise passiert ist. Die enorme Geschwindigkeit, mit der wir mündliche Rede produzieren, lässt sich nur dann erklären, wenn Sprecher auch in der Konzeptualisierung in gewissem Maße ausgetretenen Pfaden folgen. Doch wodurch können diese Pfade angelegt worden sein? Und sind die Prinzipien der Sprachverarbeitung über alle Sprachen hinweg gleich? Dass die Formulierung in hohem Maße sprachspezifisch ist, scheint klar, da die Ausdrucksmittel von Sprache zu Sprache verschieden sind. Aber gilt dies auch für die Konzeptualisierung und damit in gewisser Weise für das Denken?

Universale Prinzipien oder Sprachgebundenheit

In der Psycholinguistik gibt es hierzu zwei Positionen und eine hochgradig polarisierte Debatte. Die Universalisten nehmen an, dass kognitive Prozesse durch universale Prinzipien gekennzeichnet sind und die einzelsprachliche Darstellung allein als Gekräusel an der Oberfläche anzusehen ist. Auf der anderen Seite stehen Forscher, die eine Sprachgebundenheit kognitiver Prozesse postulieren. In unseren

HULC Lab: Experimente zur Psychologie der Sprache

Das Heidelberg University Language and Cognition Lab, kurz HULC Lab, wurde 2011 als Kooperationsprojekt des Instituts für Deutsch als Fremdsprachenphilologie und des Instituts für Übersetzen und Dolmetschen der Universität Heidelberg gegründet. Die Wissenschaftler, die sich hier zusammengeschlossen haben, forschen alle auf dem Gebiet der Psycholinguistik. Mit Hilfe verschiedener experimenteller Methoden untersuchen sie beispielsweise, inwiefern Sprache und andere kognitive Prozesse zusammenhängen und wie spezifische grammatikalische Strukturen verschiedener Sprachen das Produzieren und Verstehen von Sprache beeinflussen. Das HULC Lab verfügt unter anderem über zwei „Eye-Tracking“-Labore sowie Instrumente für verschiedene Arten der Reaktionszeitmessung.

www.hulclab.eu

sprachvergleichenden Forschungen am Heidelberger Institut für Deutsch als Fremdsprachenphilologie (IDF) war es zunächst unser Ziel, universal gültige Prinzipien der Informationsorganisation zu ermitteln. Die empirischen Befunde deuteten jedoch in eine andere Richtung: Sie zeigten, dass Sprecher unterschiedlicher Sprachen sich in systematischer Weise in Informationsauswahl sowie zeitlicher und räumlicher Perspektivenwahl unterschieden. Um dieser Feststellung auf den Grund zu gehen, führen wir uns zunächst vor Augen, inwiefern die Sprachen in ihrer einzelsprachlichen Ausprägung Strukturen vorgeben, die die inhaltliche Seite der Rede mitbestimmen. Wie kann das Wie des sprachlichen Ausdrucks in der Sprachproduktion auf das Was des Redeinhalts einwirken?

„Um unsere Wahrnehmungen zu versprachlichen, müssen wir aus einer Vielzahl von Sinneseindrücken bestimmte Komponenten auswählen und andere ausblenden.“

Jedes Sprachsystem setzt sich – grob gesprochen – aus zwei Komponenten zusammen: dem Lexikon und der Grammatik. Mit Lexikon ist das Inventar an Wörtern, also an elementaren bedeutungstragenden Ausdrücken, gemeint. Die Grammatik umfasst die Gesamtheit der Regeln, nach denen sich aus den elementaren Ausdrücken komplexe Ausdrücke, insbesondere ganze Sätze, bilden lassen. In

WHAT WE PERCEIVE AND HOW WE PERCEIVE IT

THE POWER OF LANGUAGE

CHRISTIANE VON STUTTERHEIM & JOHANNES GERWIEN

Since the days of ancient philosophy, there has been a continuous debate on the connection between language and thought. Although the relation between cognition and language has never been seriously doubted, hard factual evidence on the precise nature of this relation is still very limited. The development of new and more rigorous tools for experimental investigation enables us to lay a more solid empirical groundwork for this old and unsettled debate. The research group at the Institute of German as a Foreign Philology believes that event cognition may be a possible window on the interrelation between linguistic structure and various aspects of cognition, especially visual and auditory perception. In particular, the researchers focus on language-specific encoding of conceptual categories; it is assumed that grammatical meanings play a central role in preparing content for expression.

Methodologically, we analyse natural language production in twelve structurally very different languages and supplement this data with eye tracking recordings. Eye tracking gives us insights into patterns of visual attention, i.e. the cognitive processes that are triggered by a particular stimulus. The combined analysis of verbal and visual behaviour allows us to test the hypothesis that speakers of different languages are led to focus their eyes on different parts of a stimulus, depending on the conceptual categories that are hard-wired by the grammar of their language. The results obtained so far suggest that the specific structure of a language determines conceptualisation not only in contexts where language is actually used, but also in our nonverbal behaviour, i.e. visual attention and memory performance. ●

PROF. DR. CHRISTIANE VON STUTTERHEIM has held the chair of German Linguistics at Heidelberg University's Institute of German as a Foreign Philology since the year 2000. She read German studies, history, politics and philosophy at the universities of Marburg and Munich, earned her PhD at FU Berlin in 1984 and her teaching credentials in Heidelberg in 1996. Christiane von Stutterheim investigates psycholinguistic aspects of language production from a comparative point of view, the relationship between verbal and nonverbal cognitive processes, bilingualism and language acquisition. Her scientific work has been funded by numerous national and international projects. In 2011/12 she was a Fellow of the Lichtenberg-Kolleg in Göttingen.

Contact: stutterheim@idf.uni-heidelberg.de

JOHANNES GERWIEN is about to complete his doctoral thesis at Heidelberg University's Institute of German as a Foreign Philology. He studied German linguistics, modern history and sociology at Humboldt University in Berlin and currently holds a scholarship of the Max Planck Institute for Psycholinguistics in Nijmegen, Netherlands. In 2011, Johannes Gerwien was one of the initiators of the Heidelberg University Language and Cognition Lab (HULC Lab). His research interests are the relationship between visual attention and language-planning processes and specific aspects of the human language-production system in event coding.

Contact: jo.gerwien@uni-heidelberg.de

“Language controls our visual perception: The grammatical structure specific to our language influences where we look and how long we keep looking.”

beiden Komponenten unterscheiden sich die einzelnen Sprachen mehr oder weniger stark. So legt beispielsweise die einzelsprachliche Grammatik jeweils besondere begriffliche Kategorien als obligatorische Bestandteile einer jeden Aussage fest. In den indoeuropäischen Sprachen etwa tragen alle Sätze eine zeitliche Markierung am Verb, jede Aussage muss somit temporal eingeordnet werden. Die chinesische oder arabische Grammatik erfordert dies nicht. In den slawischen Sprachen wiederum müssen die Sprecher immer einen Verbalaspekt markieren, das heißt sie kennzeichnen das ausgedrückte Geschehen als abgeschlossen oder als nicht abgeschlossen. Ein Satz wie „Meine Tochter ging ins Kino“ müsste im Russischen demnach differenziert werden und sinngemäß „Meine Tochter war auf dem Weg ins Kino“ oder „Meine Tochter war schon im Kino angekommen“ lauten. Der deutsche Satz lässt dies offen.

„Kann das *Wie* des sprachlichen Ausdrucks in der Sprachproduktion auf das *Was* des Redehalts einwirken?“

Nicht nur die Grammatik jedoch gibt vor, welche Kategorien für die Konzeptualisierung wichtig oder gar zwingend sind. Auch die Lexika verschiedener Sprachen determinieren inhaltliche Aussagen, indem sie bestimmte Begriffe mehr oder weniger systematisch ausdifferenzieren. So weist das Englische beispielsweise über hundert Verben der Art und Weise einer Bewegung auf, zwischen denen sich ein Sprecher entscheiden muss; das Spanische hingegen kennt nur vierzig Verben in diesem semantischen Feld. Will ein Sprecher im Spanischen die Art der Bewegung differenzierter kennzeichnen, muss er also zu anderen Mitteln greifen, etwa Adverbien. Dies tut er aber nicht durchgängig und automatisch, sondern nur in besonders herausgehobenen Fällen. Mit anderen Worten: Lexikon und Grammatik einer Sprache profilieren den Konzeptualisierungsprozess, indem bestimmte Muster der konzeptuellen Komposition als obligatorisch beziehungsweise als präferiert etabliert werden.

In der Vielfalt beschränkt

Diese Feststellung wirft ein Schlaglicht auf die Frage, wie variantenreich Menschen eigentlich wirklich sprechen. Was im Alltagsverständnis als durch Individualität geprägtes Betätigungsfeld des menschlichen Geistes erscheint und damit im Sinne Saussures als chaotisch und der wissenschaftlichen Erforschung kaum zugänglich, erweist sich bei näherer Betrachtung als begrenzt in seiner Vielfalt: Die



JOHANNES GERWIEN steht kurz vor der Fertigstellung seiner Dissertation am Institut für Deutsch als Fremdsprachenphilologie der Universität Heidelberg. Er studierte Germanistische Linguistik, Neuere Geschichte und Soziologie an der Humboldt-Universität zu Berlin. Derzeit ist er Stipendiat des Max-Planck-Instituts für Psycholinguistik im niederländischen Nijmegen. 2011 war Johannes Gerwien an der Gründung des Heidelberg University Language and Cognition Lab, kurz HULC Lab, beteiligt. Seine Forschungsinteressen richten sich auf den Zusammenhang zwischen visueller Aufmerksamkeit und Sprachplanungsprozessen sowie auf spezifische Aspekte des menschlichen Sprachproduktionssystems bei der Enkodierung von Ereignissen.

Kontakt: jo.gerwien@uni-heidelberg.de

einzelsprachlichen Strukturen beschränken oder fokussieren die Wahlmöglichkeiten in jeweils besonderer Weise.

In unserer psycholinguistischen Arbeitsgruppe am IDF versuchen wir, das Verhältnis von universellen und sprachspezifischen Prinzipien experimentell zu klären. Hierzu untersuchen wir auf der Grundlage von Sprachverarbeitungsexperimenten, inwiefern sich sprachspezifische Effekte in kognitiven Prozessen der Informationsverarbeitung zeigen. In der fachigen Terminologie formuliert, stellt sich die Frage folgendermaßen: Gibt es in der Verarbeitung von Sinneseindrücken, die zunächst chaotisch und in Überlagerung bei den visuellen und auditiven Sinnesorganen ankommen, sprachstrukturell bedingte top-down Prozesse, die sich auf Interpretation und Repräsentation dieser Eindrücke auswirken?

Um diese Frage zu beantworten, befassen wir uns seit einigen Jahren ausführlich mit sprachspezifischen Effekten im Bereich der visuellen Wahrnehmung. Hierzu setzen wir die Technik des „Eye-Tracking“ ein. Ein „Eye-Tracker“ zeichnet während des Betrachtens eines Stimulus millisekundengenau auf, wo, wie lange und wie oft ein Proband bestimmte Komponenten eines Stimulus fixiert. Mit dieser Technik prüfen wir die Hypothese, dass sprachliche Strukturen einen wesentlichen Faktor in der Steuerung der visuellen Wahrnehmung darstellen. Konkret untersuchen wir die Effekte grammatikalisierter Kategorien im Bereich der Zeit- und Raumwahrnehmung. Derzeit arbeiten wir mit zwölf Sprachen aus unterschiedlichen Sprachfamilien.

Die Sprache steuert den Blick

In einer aktuellen Studie werden Probanden aus vier verschiedenen Sprachräumen kurze Video-Clips gezeigt, unter anderem eine Szene der eingangs genannten Situation: Ein Fahrzeug fährt auf einer Landstraße zu einer Ortschaft. Die Testpersonen werden gebeten, so schnell wie möglich in einem Satz zu beschreiben, was in den Videos passiert. Blickbewegung und Sprachproduktion werden dabei synchron aufgenommen. Nun gibt es bei der Lösung einer solchen einfachen sprachlichen Aufgabe sicher eine gewisse individuelle Variation – dem einen scheint dies wichtiger, dem anderen jenes. Gibt es über diese individuelle Variation hinaus aber auch einen nennenswerten Einfluss der jeweiligen Sprache auf die Versprachlichung der Wahrnehmung? Dieser Frage gehen wir in zwei Schritten nach.

Im ersten Schritt kategorisieren wir alle von den Probanden produzierten Äußerungen im Hinblick auf die enthaltenen zeitlichen und räumlichen Konzepte sowie im Hinblick auf formale Eigenschaften der verwendeten Ausdrucksmittel. Eine Reihe von Darstellungen, wie sie für die deutschen, französischen, englischen und tunesischen Probanden typisch sind, zeigt, wie unterschiedlich die ausgewählten Konzepte und die Verteilung der Informationen

auf sprachliche Ausdrucksformen sind: „Ein Auto fährt zu einem Dorf, une voiture se dirige vers un village, a car is driving along a country road, karhba māšya f-el-kayās“ (Auto gehend, sich bewegend, auf der Straße). Mit Hilfe statistischer Verfahren lassen sich Muster und gegebenenfalls Divergenzen zwischen den vier Sprechergruppen ermitteln. Grob gesprochen stellen wir die Frage: Sind die Unterschiede zwischen den Gruppen kleiner, größer oder gleich den Unterschieden innerhalb der Gruppen?

In einem zweiten Schritt analysieren wir die Augenbewegungen der Testpersonen. Anhand der aufgezeichneten Fixationen (Fixation = Zeitintervall, in dem das Auge in einer bestimmten Region ruht und visuelle Wahrnehmung möglich ist) untersuchen wir, wann, wie lange und wie oft ein Proband den Blick auf Bildbereiche gerichtet hat, die für unsere Fragestellung relevant sind – zum Beispiel auf das Auto, das Dorf oder die Straße, auf der das Auto fährt. Abbildung 1 zeigt die Menge an Fixationen von je zwanzig Sprechern des Tunesischen (rot) und des Deutschen (hellblau) innerhalb der ersten zwei Sekunden nach Beginn des Videos.

Auf den ersten Blick scheinen die Fixationen bei beiden Sprechergruppen chaotisch, eine statistische Analyse liefert jedoch klare Strukturmuster. Diese werden deutlich, wenn man den Zeitverlauf der Blickbewegungen berücksichtigt. Wie der typische Zeitverlauf zum Beispiel bei einem Sprecher des Deutschen aussieht, ist auf Abbildung 2 zu erkennen: Hier wird sichtbar, wie ein deutscher Sprecher, ausgehend von dem Bus als dem sich bewegenden Objekt, den gesamten Weg bis zu dem potentiellen Endpunkt betrachtet, um dann zu sagen: „Ein Bus fährt zu einem Dorf.“ Ein typisches Beispiel eines Sprechers des Tunesischen zeigt das Bild 3: Sprecher dieser Gruppe stellen das Ereignis überwiegend mit dem Satz „Ein Bus bewegt sich auf einer Straße“ dar.

Wo, wann, wie lange?

Konkret ausgewertet werden die Blickbewegungsdaten auf zwei Weisen: Zum einen definieren wir das Erscheinen des Stimulus auf dem Experimentrechner als zeitlichen Nullpunkt. Dadurch lassen sich die ersten Fixationen (wo, wann, wie lange) über Probanden und Stimuli hinweg vergleichen. Zum anderen bestimmen wir den Sprechbeginn als Startpunkt einer quasi rückwärtsgerichteten Analyse. Auf diese Weise können wir generalisierte Aussagen über die Fixationen kurz vor Sprechbeginn machen.

Die Analyse der Fixationen direkt nach Erscheinen des Stimulus erlaubt uns, Aufmerksamkeitsmuster zu identifizieren, die mit vorsprachlichen (präverbalen) kognitiven Prozessen zusammenhängen. Die in dieser Phase aufgebauten mentalen Repräsentationen weisen Strukturen auf, in denen die oben erwähnte Informationsselektion und

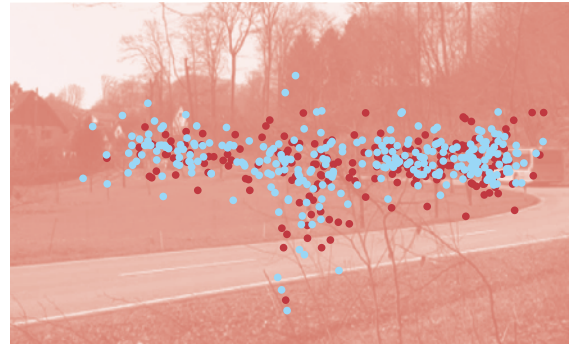


Abbildung 1

Blickbewegungen von vierzig Probanden in den ersten zwei Sekunden nach dem Beginn der Präsentation des Stimulus-Videos.

SPRACHE ● Tunesisch ● Deutsch

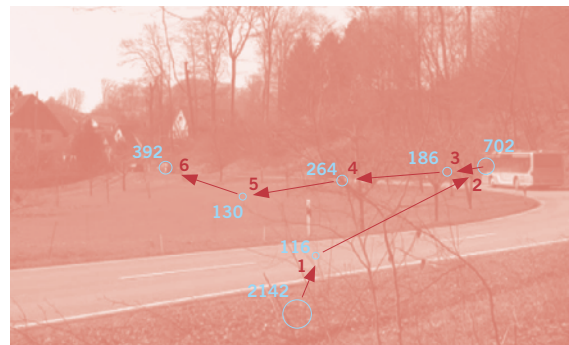


Abbildung 2

Typische Blickbewegungen eines Sprechers des Deutschen innerhalb der ersten zwei Sekunden nach dem Beginn der Präsentation des Stimulus-Videos. Die Zahlen neben den als Kreise eingezeichneten Fixationen geben die Dauer der jeweiligen Fixation in Millisekunden an.

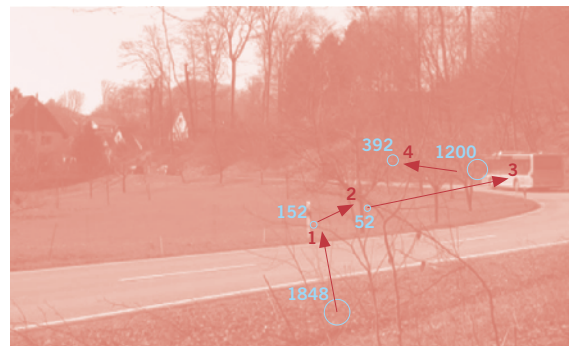


Abbildung 3

Typische Blickbewegungen eines Sprechers des Tunesischen innerhalb der ersten zwei Sekunden nach dem Beginn der Präsentation des Stimulus-Videos. Die Zahlen neben den als Kreise eingezeichneten Fixationen geben die Dauer der jeweiligen Fixation in Millisekunden an.

Perspektivsetzung erfolgt sind. Auf dieser Verarbeitungsebene haben wir es noch nicht mit Wörtern zu tun, sondern mit Konzepten, das heißt bestimmten „Ideen“, für die erst die geeigneten Wörter im mentalen Lexikon gefunden werden müssen: Man denkt schon „Auto“, muss aber noch das Wort Auto/car/voiture/karhba irgendwo im mentalen Lexikon aufsuchen.

Die Fixationsdaten kurz vor Sprechbeginn auf der anderen Seite reflektieren Prozesse, die im Zusammenhang mit dem Abrufen syntaktischer und lautlicher Informationen aus dem mentalen Lexikon stehen; dies sind bereits Formulierungsprozesse. Dabei zeigen unsere Daten, dass circa eine Sekunde, bevor ein Wort die Lippen des Sprechers verlässt, der Blick auf einem visuellen Objekt ruht, das mit diesem Wort korrespondiert (Eye-Voice-Span). Dieser zweigeteilte Analyseansatz ist notwendig, da sich – trotz einiger prinzipieller Gemeinsamkeiten – die Sprecher gerade in der zeitlichen Realisierung der hier beschriebenen kognitiven Prozesse oft unterscheiden.

Sprache strukturiert Vielfalt von Sinneseindrücken

Unsere Untersuchungen zeigen einen klaren Einfluss einzelsprachlicher grammatischer Strukturen auf die visuelle Wahrnehmung: Wohin jemand bevorzugt schaut und wie lange er dies tut, wird von der Struktur seiner Sprache beeinflusst. Wie weit aber reichen diese Effekte? Sind sie nur bei der konkreten Verwendung der Sprache zu beobachten – hier also der Aufgabe, eine Szene zu beschreiben – oder auch in Situationen, in denen Sprache gar nicht beteiligt ist? Um dies zu prüfen, haben wir erste sprachvergleichende Experimente zur visuellen Wahrnehmung ohne sprachliche Aufgaben durchgeführt. Die Ergebnisse – und dies ist vielleicht noch erstaunlicher – zeigen auch hier unterschiedliche Präferenzen bei Probanden unterschiedlicher Sprachen, die sich mit den Befunden unserer vorigen Studien decken.

„Die Sprache steuert unsere visuelle Wahrnehmung: Wohin wir bevorzugt schauen und wie lange wir dies tun, wird von der sprachspezifischen grammatischen Struktur beeinflusst.“

Die visuelle Wahrnehmung – und damit ein wesentlicher Teil der menschlichen Kognition – ist also zumindest teilweise von der Struktur der Sprache geprägt; dies ist ganz unabhängig davon, ob der Wahrnehmende gerade spricht

oder nicht. Grammatik und Wortschatz einer Sprache liefern demnach Pfade, die durch die unendliche Zahl visueller Reize und im Gedächtnis abgelegter Informationen führen. Das einzelsprachliche System bringt Struktur in das Chaos von Sinneseindrücken und Assoziationsmöglichkeiten im Gedächtnis.

In Kooperation mit Kollegen aus dem Gebiet der visuellen Informationsverarbeitung am Heidelberger Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) wollen wir künftig die Methode des „Eye-Tracking“ so verfeinern, dass sich das Blickverhalten bei komplexen dynamischen Stimuli noch detaillierter auswerten lässt. Dabei interessiert uns besonders die präzise Verbindung zwischen den sequentiell produzierten Ausdrücken einer Äußerung und der visuellen Aufmerksamkeit. Hierzu gibt es bisher in keinem anderen „Eye-Tracking“-Labor Techniken oder Ergebnisse. Auf diesem Wege hoffen wir der Antwort auf die Frage, wie Sprache und Kognition zusammenhängen, noch einen Schritt näherzukommen. ●

**VOM
PRINZIP**

DES

LEBENS

VOM PRINZIP DES LEBENS

IM MIKROKOSMOS DER STAMMZELLEN

ANTHONY D. HO & THOMAS W. HOLSTEIN

Stammzellen garantieren die Ordnung des Lebens: Sie steuern die Entwicklung und sorgen für den Erhalt von Organen. Wenn Stammzellen ihre Aufgaben nicht ordnungsgemäß ausführen können, drohen Krankheit und Tod. Ein Heidelberger Sonderforschungsbereich untersucht die Geheimnisse der Stammzellen bei unterschiedlichen Lebewesen – von Pflanzen und Süßwasserpolyphen bis hin zum Menschen. Dabei wird offenbar, wie sehr sich die Prinzipien des Lebens auf molekularer Ebene ähneln.

S

Stammzellen kommen in allen mehrzelligen Lebewesen vor, bei Menschen ebenso wie bei Tieren. Auch bei Pflanzen und Pilzen sind sie zu finden. Sie sind somit ein grundlegendes Kennzeichen vielzelliger Lebensformen und vermutlich das Ergebnis der Arbeitsteilung verschiedener Zelltypen, wie sie bei komplexeren Organismen notwendig ist. Allen Stammzellen gemeinsam ist, dass sie sich kontinuierlich selbst erneuern und als Nachkommen

Zellen mit definierten Aufgaben, sogenannte differenzierte Zellen, erzeugen. Man unterscheidet embryonale von adulten oder somatischen Stammzellen. Embryonale Stammzellen sind nahezu totipotent, das heißt „zu allem“ fähig, während adulte Stammzellen nur pluripotent, das heißt „zu vielem“ fähig sind. Aus totipotenten Stammzellen entwickeln sich zunächst pluripotente Stammzellen und hieraus Vorläuferzellen. Erst am Ende des Entwicklungsweges finden sich terminal differenzierte Zellen, also die Spezialisten, welche verschiedenste Organsysteme bilden. Allein adulte Stammzellen bleiben in einem Organismus zeitlebens bestehen und können dauerhaft Zellen mit speziellen Fähigkeiten, etwa Blut-, Nerven- oder Muskelzellen, hervorbringen. Diese fundamentale Eigenschaft der Stammzellen macht vielzellige Strukturen höherer Ordnung überhaupt erst möglich.

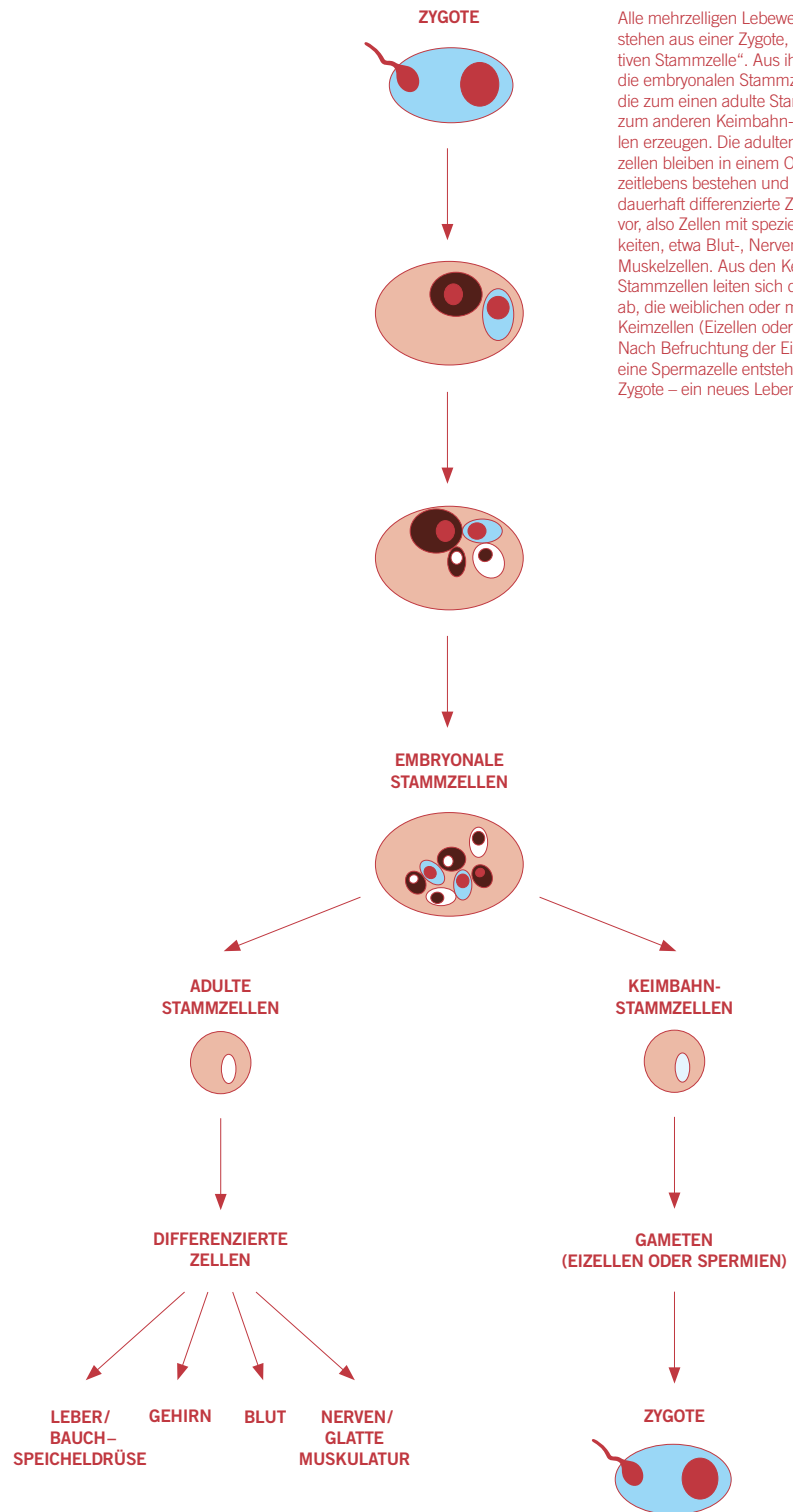
Alle mehrzelligen Lebewesen, von den einfachsten Schwämmen bis hin zum Menschen, beginnen mit einer einzigen

Zelle, der Zygote. Sie ist das Fusionsprodukt einer männlichen und einer weiblichen Keimzelle. Die Zygote ist die „ultimative Stammzelle“. Unzählige Zellteilungen und Reifungswege liegen zwischen ihr und den differenzierten Zellen eines Organs, das im Körper seine Aufgabe erfüllen kann – etwa kontinuierlich Blutzellen bereitzustellen. Am Beispiel des Blut bildenden, des „hämatopoetischen“ Stammzellsystems des Menschen können wir viele grundlegende Eigenschaften von Stammzellen erlernen. Aber auch die Stammzellsysteme anderer Organismen lassen wichtige Prinzipien erkennen, die wiederum auf die Biologie des Menschen rückschließen lassen. Dies zu erkunden, ist das übergeordnete Ziel eines Heidelberger Sonderforschungsbereichs der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Anhand verschiedener Lebewesen wollen die Wissenschaftler gemeinsam molekulare Mechanismen der Stammzellbiologie erarbeiten. Mit diesem Format ist der Sonderforschungsbereich „Selbsterneuerung und Differenzierung von Stammzellen“ ein international einmaliges Projekt.

Die Anfänge der Stammzellforschung

Die moderne Stammzellforschung begann im Jahr 1963. Damals entdeckten die kanadischen Wissenschaftler James Till, Ernest McCulloch und Lou Siminovitch die hämatopoetischen Stammzellen im Knochenmark von Mäusen. Die Wissenschaftler übertrugen die Zellen in Tiere, deren Blut bildendes System zuvor mit Strahlen zerstört worden war. Es zeigte sich, dass die transplantierten Zellen imstande waren, die gesamte Blutbildung (Hämatopoese) wieder in Gang zu setzen. Auf der Grundlage ihrer bahnbrechenden Experimente definierten sie Stammzellen als „Zellen mit der Fähigkeit zur unbeschränkten Selbsterneuerung und Differenzierung in verschiedene Zelltypen“. Die Entdeckung der kanadischen Forscher markiert den Beginn der Stammzellforschung. Seither wurden Stammzellen bei vielen weiteren Lebewesen in verschiedenen Geweben und Organen gefunden.

Die hämatopoetischen Stammzellen, weiß man heute, sind für die Entwicklung sämtlicher Zellen des Blutes mit ihren sehr unterschiedlichen Funktionen verantwortlich: Rote Blutzellen transportieren Sauerstoff, weiße Blutzellen wehren Bakterien und Viren ab und Blutplättchen schließen Wunden. Tagtäglich werden dreihundert Milliarden Blutzellen verbraucht – und exakt die gleiche Zahl an Zellen wird vom hämatopoetischen Stammzellsystem wieder ersetzt. Die enorme Leistungskraft und die Präzision, mit der dieses System während der gesamten Lebensspanne eines Organismus arbeitet, sind ebenso erstaunlich wie faszinierend. Bestimmte Stressoren, etwa krankmachende Bakterien, können das Gleichgewicht des hämatopoetischen Stammzellsystems zeitweise empfindlich stören und die Anzahl weißer Blutkörperchen dramatisch ansteigen lassen. Vor allem spezielle weiße Blutzellen – die Neutrophilen, die die Bakterien bekämpfen sollen – werden verstärkt produziert.



Alle mehrzelligen Lebewesen entstehen aus einer Zygote, der „ultimativen Stammzelle“. Aus ihr gehen die embryonalen Stammzellen hervor, die zu adulten Stammzellen, zum anderen Keimbahn-Stammzellen erzeugen. Die adulten Stammzellen bleiben in einem Organismus zeitlebens bestehen und bringen dauerhaft differenzierte Zellen hervor, also Zellen mit speziellen Fähigkeiten, etwa Blut-, Nerven- oder Muskelzellen. Aus den Keimbahn-Stammzellen leiten sich die Gameten ab, die weiblichen oder männlichen Keimzellen (Eizellen oder Spermien). Nach Befruchtung der Eizelle durch eine Spermazelle entsteht wieder eine Zygote – ein neues Leben beginnt.

IN THE MICROCOSM OF STEM CELLS

PRINCIPLE OF LIFE

ANTHONY D. HO AND THOMAS W. HOLSTEIN

For all multicellular life forms from plants to humans, life starts with a single cell, a zygote. This cell is regarded as the “ultimate stem cell”. In the course of development from a zygote to specific organs with terminally differentiated cells, there are numerous cell divisions that give rise to stem cells with a more limited self-renewal capacity and developmental potential. At the end of the maturation pathway are terminally differentiated cells that form various organ systems and perform specific functions for the organism. Stem cells are also of paramount importance for the ability to regenerate. Under conditions of normal growth and maintenance, stem cell self-renewal and stem cell differentiation are in a state of perfect harmony. By contrast, dysregulation of stem cell behaviour will lead to chaos, e.g. cancer.

One of the best-studied mammalian stem cell systems is the haematopoietic stem cell (HSC) and the role it plays in leukaemia formation, with all associated medical implications. Haematopoietic stem cells were the first stem cells to be identified and defined. They are the archetype of somatic stem cells and serve as model for understanding stem cell biology. Since the regulatory pathways controlling stem cell function are often difficult to study in mammalian systems, we have made use of simpler model systems, such as hydra, fly, and mouse, to illuminate the cellular and molecular mechanisms governing stem cell function. Within the Collaborative Research Centre “Maintenance and Differentiation of Stem Cells in Development and Disease” we are comparing divergent and conserved modules of stem cell control across the kingdoms of life and expect to fundamentally advance the understanding of the principles and molecular mechanisms that control stem cell function during development, homeostasis, and cancer. ●

“The power and precision with which stem cell systems operate throughout an organism’s life span are as astounding as they are fascinating.”

PROF. DR. ANTHONY HO is Medical Director of the Department of Haematology, Oncology and Rheumatology of Heidelberg University Hospital V and Speaker of the Collaborative Research Centre “Stem Cell Self-Renewal and Differentiation”. After completing his studies of medicine at Heidelberg University, he worked at the University Hospital from 1975 to 1990. He then accepted a position as “Full Professor” at the University of Ottawa, Canada, where he stayed two years before transferring to the University of California in San Diego (1992–1998). He returned to Heidelberg in March 1998 to take up his current position.

Contact: anthony_dick.ho@urz.uni-heidelberg.de

PROF. DR. THOMAS W. HOLSTEIN has been heading the research group “Molecular Evolution and Genomics” at Heidelberg University’s Centre for Organismal Studies (COS) since 2004. He is co-coordinator of the Collaborative Research Centre “Stem Cell Self-Renewal and Differentiation”, a two-time Marsilius Fellow (2010/11 and 2013/14), and became Secretary of the mathematical-scientific section of the Heidelberg Academy of Sciences and Humanities in 2012. He served as Dean of the Faculty of Biosciences (2007–2012) and Director of the Institute of Zoology (2004–2010). Before coming to Heidelberg, he held chairs at TU Darmstadt and the University of Frankfurt and completed a research stay as guest professor at the University of Vienna.

Contact: thomas.holstein@cos.uni-heidelberg.de

Sonderforschungsbereich zur Steuerung von Stammzellen

Der Sonderforschungsbereich „Selbsterneuerung und Differenzierung von Stammzellen“ (SFB 873) hat zum Ziel, die grundlegenden Prinzipien der Stammzellsteuerung zu identifizieren. In einfachen Modellsystemen, zum Beispiel Fliegen oder Süßwasserpolyphen, erforschen die beteiligten Wissenschaftler die Mechanismen, die den Selbsterhalt und die Differenzierung von Stammzellen steuern, und projizieren sie anschließend auf komplexere Lebensformen bis hin zum Menschen.

Der Sonderforschungsbereich wurde im Juli 2010 für eine Dauer von vier Jahren an der Universität Heidelberg eingerichtet. Koordiniert wird er an der Medizinischen Fakultät, sein Sprecher ist Prof. Dr. Anthony D. Ho. Zu den mitwirkenden Institutionen gehören neben den Medizinischen Fakultäten Heidelberg und Mannheim das Institut für Zoologie, das Institut für Angewandte Mathematik, das Zentrum für Molekulare Biologie der Universität Heidelberg sowie das Deutsche Krebsforschungszentrum (DKFZ).

www.sfb873.de

Ist die Infektionsgefahr für den Organismus gebannt, stellt sich die ursprüngliche Balance des Systems wieder ein. Die Fähigkeit des Stammzellsystems, Selbsterneuerung und Differenzierung im Gleichgewicht zu halten, wird „Homöostase“ genannt. Diesen bedeutenden Mechanismus auf molekularer Ebene zu verstehen, ist ein wichtiges Ziel der aktuellen Forschungsarbeiten.

„Die Leistungskraft und Präzision, mit der Stammzellsysteme während der gesamten Lebensspanne eines Organismus arbeiten, sind ebenso erstaunlich wie faszinierend.“

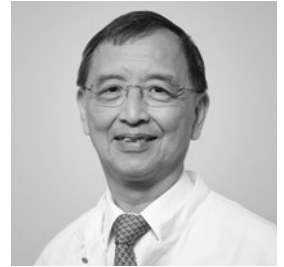
Symmetrie und Asymmetrie

Die beiden wichtigsten Charakteristika von Stammzellen – ihre Fähigkeit, sich selbst zu erneuern und differenzierte Zelltypen zu produzieren – können nur aufgrund einer „asymmetrischen Zellteilung“ zustande kommen. Dabei entstehen eine Tochterzelle, die sich selbst erneuern kann, und eine zweite Tochterzelle, die den Differenzierungsweg beschreitet. Auch hämatopoetische Stammzellen durchlaufen eine solche asymmetrische Zellteilung. Die Tochterzellen einer Stammzelle können aufgrund innerer Faktoren bereits zum Zeitpunkt der Teilung verschieden sein. Sie können sich aber auch erst nach bereits vollzogener Teilung zu unterscheiden beginnen, beispielsweise weil Signale aus der Umgebung auf sie einwirken oder weil die Tochterzellen mit anderen Zellen kommunizieren.

Wichtige Fortschritte im Verständnis dieser komplexen regulativen Prozesse haben wir mit einfachen Organismen wie der Fruchtfliege *Drosophila* erreichen können. Die erarbeiteten Ergebnisse können als Modell für die Regulation der asymmetrischen Teilung von Stammzellen bei Säugern dienen. Wir hoffen, damit bald grundlegende Fragen beantworten zu können: Wie wird die Asymmetrie der Zellteilung bei hämatopoetischen Stammzellen gesteuert? Wie wird die Zahl nachkommender Zellen in jeder der produzierten Zelllinien präzise reguliert? Wie werden die regulatorischen Mechanismen auf den aktuellen Bedarf des Organismus für bestimmte Zelltypen abgestimmt?

Chaos und Katastrophen

Unter normalen Bedingungen sind die Stammzellselbsterneuerung und die Stammzellendifferenzierung in einem Zustand perfekter Harmonie (Homeostasis). Die kleinste Störung der dabei beteiligten regulatorischen Mechanismen



PROF. DR. ANTHONY HO ist Ärztlicher Direktor der Medizinischen Klinik V der Universität Heidelberg mit den Schwerpunkten Hämatologie, Onkologie und Rheumatologie. Zudem ist er Sprecher des Sonderforschungsbereiches „Selbsterneuerung und Differenzierung von Stammzellen“. Nach dem Medizinstudium an der Universität Heidelberg arbeitete er von 1975 bis 1990 im Universitätsklinikum Heidelberg. Anschließend forschte und lehrte er zunächst für zwei Jahre als „Full Professor“ an der University of Ottawa, Kanada, und wechselte dann an die University of California, San Diego, USA (1992–1998). Im März 1998 wurde er auf den jetzigen Lehrstuhl in Heidelberg berufen.

Kontakt: anthony_dick.ho@urz.uni-heidelberg.de

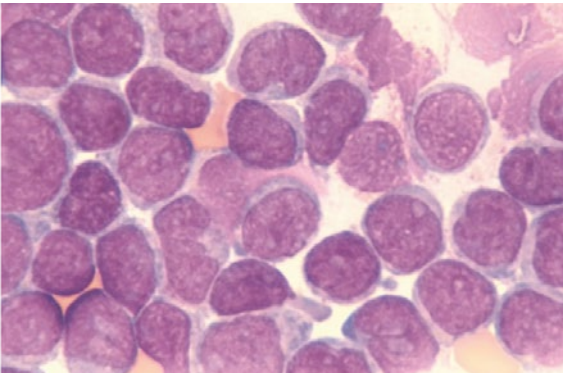
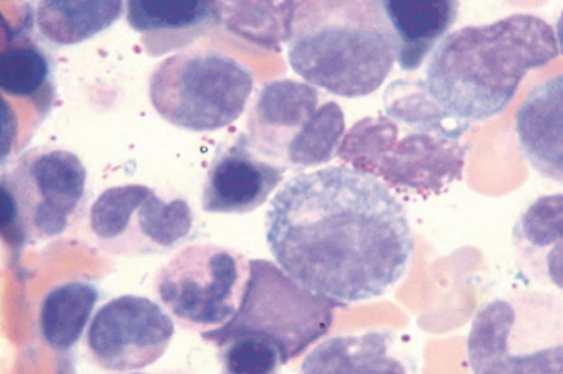
wird sich in nachfolgenden Zelllinien exponentiell fortsetzen und endet im Chaos. Ein Beispiel sind Mutationen, die sich in den Stammzellen ereignen und die Asymmetrie ihrer Teilungen verändern. Auch äußere Bedingungen können sich wandeln, beispielsweise Signale, die aus der unmittelbaren Umgebung auf die Blut bildenden Stammzellen im Knochenmark einwirken und die für die Präzision der asymmetrischen Stammzellteilungen mitverantwortlich sind. Solche Veränderungen können die Differenzierung der Zellen blockieren: Es entstehen unreife Nachkommen, also Blutzellen, die nicht imstande sind, ihre Aufgabe für den Organismus zu erfüllen. Blutkrebs (Leukämie) ist eine mögliche Folge.

Untersuchungen aus jüngerer Zeit haben gezeigt, dass auch andere Krebsarten entstehen können, wenn sich Stammzellen verändern. Man spricht von „Krebsstammzellen“, die sich, wie es für Stammzellen charakteristisch ist, selbst erneuern und ständig neue Krebszellen nachliefern. Krebsstammzellen sind zudem imstande, der Behandlung mit Medikamenten (Chemotherapie) oder Strahlen (Radiotherapie) zu widerstehen. Sie werden daher heute als wichtiger Grund dafür angesehen, dass Tumoren nach zunächst erfolgreicher Therapie erneut auftreten. Der erste Hinweis auf die Existenz von Krebsstammzellen wurde in den 1990er-Jahren gefunden: Bei Patienten, die an einer bestimmten Blutkrebsform – der Akuten Myeloischen Leukämie – erkrankt waren, entdeckten Wissenschaftler eine kleine Population an menschlichen Leukämiezellen, die nach Transplantation in Mausmodelle das Vollbild einer humanen Leukämie im Blutsystem der Tiere auslösen konnte. Die Wissenschaftler nannten diese Zellen deshalb „Leukämie initiiierende Stammzellen“.

Von einfachen Organismen lernen

Die Prinzipien der Stammzellbiologie lassen sich an einfachen tierischen Lebewesen studieren. Die beliebtesten Modelle der Stammzellforscher sind Süßwasserpolyphen, Plattwürmer, Fruchtfliegen, Fische, Frösche und Mäuse. Trotz ihrer äußeren Unterschiedlichkeit teilen sich alle diese Organismen zentrale Eigenschaften der Stammzellregulation. So lässt der Vergleich aller bislang untersuchten Organismen vermuten, dass die asymmetrische Teilung der Stammzellen von einem Mechanismus kontrolliert wird, der sich im Laufe der Evolution über die Speziesgrenzen hinweg weitgehend unverändert erhalten hat. Eine wesentliche Rolle dabei spielen Differenzierungssignale: Sie aktivieren Rezeptoren auf den Oberflächen von Zellen, setzen im Innern der Zelle Signalwege in Gang und bewirken, dass die Information bestimmter Gene gezielt abgelesen und in Protein übersetzt wird. Ein Beispiel ist der Wnt-Signalweg: Das Signalprotein „Wnt“ bindet an seinen Rezeptor auf der Zelle, woraufhin bestimmte Gene im Zellkern angeschaltet werden. Weitere Beispiele für speziesübergreifende molekulare Regulationswege, die

**„Die bei einfacheren
Lebewesen erarbeiteten
Ergebnisse können
als Modell für die
Stammzellbiologie
komplexer Organismen
bis hin zum
Menschen dienen.“**



Das Knochenmark von gesunden Patienten (oben) unterscheidet sich deutlich von dem eines Leukämiepatienten (unten). Gesundes Knochenmark kennzeichnet sich durch eine ausgewogene Zusammensetzung von weißen und roten Blutkörperchen in unterschiedlichen Reifungsstadien. Das untere Bild dagegen zeigt eine verhängnisvolle Monokultur: die Durchsetzung des Knochenmarks durch homogene, unreife Leukämiezellen.

Stammzellen in der Therapie

Vor 28 Jahren wurden in der Universitätsklinik Heidelberg erstmals Stammzellen, die aus dem zirkulierenden Blut anstatt aus dem Knochenmark eines Menschen gewonnen worden waren, mit Erfolg transplantiert. Damit war die Medizinische Poliklinik die weltweit erste Einrichtung, der dieser entscheidende Schritt in eine neue Ära der Behandlung krebserkrankter Patienten gelang. Heute werden in Heidelberg jährlich circa 300 bis 320 Patienten, die an Blut- und Lymphdrüsenkrebs erkrankt sind, mit einer solchen Stammzelltransplantation behandelt.

mittlerweile entdeckt wurden, sind der Hedgehog- und der $TNF\alpha$ - $I\kappa$ B- $NF\kappa$ B-Signalweg. Sie nehmen auch Einfluss auf die asymmetrische Zellteilung bei der Blutbildung des Menschen.

Ein wichtiges Ziel unserer Arbeiten im Heidelberger Sonderforschungsbereich „Selbsterneuerung und Differenzierung von Stammzellen“ ist es, anhand einfacher Modellsysteme die zellulären und molekularen Mechanismen zu entschlüsseln, die Stammzellsysteme steuern. Ein weiteres Ziel ist es, die Lücke zwischen den experimentell zugänglichen einfachen Modellen und hochkomplexen Säugersystemen zu schließen. Der Vergleich von Signalwegen, die sich während der Evolution unterschiedlich entwickelt oder – umgekehrt – über die verschiedensten Organisationsformen des Lebens hinweg erhalten haben, wird uns viele weitere Fortschritte im Verständnis der Stammzellfunktionen und ihrer Regulation erlauben – auch beim Menschen. ●



PROF. DR. THOMAS W. HOLSTEIN leitet seit dem Jahr 2004 die Abteilung für Molekulare Evolution am Centre for Organismal Studies (COS) der Universität Heidelberg. Er ist Mitkoordinator des Sonderforschungsbereichs „Selbsterneuerung und Differenzierung von Stammzellen“, zweimaliger Marsilius-Fellow (Jahrgänge 2010/2011 sowie 2013/14) und seit 2012 Sekretär der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Er war Dekan der Fakultät für Biowissenschaften (2007 bis 2012) und Vorstand des Instituts für Zoologie (2004 bis 2010). Zuvor hatte er Professuren an der TU Darmstadt und der Universität Frankfurt inne und forschte als Gastprofessor an der Universität Wien.

Kontakt: thomas.holstein@cos.uni-heidelberg.de

**AM
ANFANG
WAR**

**DIE
ZELLE**

AM ANFANG WAR
DIE ZELLE

CHAOS ALS ORDNUNGSPRINZIP?

JOACHIM WITTBRODT

Schritt für Schritt, auf vorbestimmten Bahnen und Wegen, verläuft die Embryonalentwicklung. So steht es in den meisten Lehrbüchern. Neue Ergebnisse der Forschung aber zeigen, dass sich Lebewesen weit weniger geordnet entwickeln als bislang angenommen. Die Gestaltwerdung des Organismus scheint viel eher das Resultat eines chaotisch anmutenden Selektionsprozesses zu sein.

D

Das Wunder der Entwicklung und die Frage, wie sich aus einer einzelnen Zelle ein komplexer Organismus entwickelt, lässt uns immer wieder staunen. Am Ende besteht der Organismus aus Abermillionen von Zellen, die koordiniert zusammenarbeiten und in einzigartiger Weise auf ihre Umwelt reagieren, sei es durch Regeneration und Wundheilung, sei es durch Kommunikation bis hin zur Entwicklung von Sprache und Kultur. All das muss zweifelsohne genau kontrolliert werden. Die Frage ist nur, wie diese Kontrolle aussieht. Basiert sie auf einer übergeordneten „Master Control Unit“, die jedes Detail überwacht, oder auf einer „verteilten Intelligenz“? Könnte das System gar so ausgelegt sein, dass die Komplexität durch die Selbstorganisation seiner Komponenten, also der einzelnen Zellen, aus scheinbarem Chaos hervorgeht? Wenn wir an die Auslegung des Systems denken, sollten wir bedenken, dass dies nicht die „Version 3.0“ einer Entwicklung ist, sondern das Resultat von vier Milliarden Jahren Evolution.

Was als Nächstes passiert, ist unvorhersehbar

Wie lässt sich eine Antwort auf die Frage finden, wie Komplexität und Ordnung aus einer einzigen Zelle hervorgehen? Am einfachsten durch Zusehen: Wenn wir die frühe Embryonalentwicklung eines Wirbeltieres, beispielsweise eines Fisches, verfolgen, wird klar, dass alles aus einer einzigen Zelle entsteht. Diese Zelle wird durch

die Verschmelzung der Zellkerne von Ei und Spermium neu geschaffen; sie teilt sich in zwei Tochterzellen, die sich ihrerseits in rascher Folge weiter teilen. Dabei ist das Schicksal der jeweiligen Tochterzellen nur in den seltensten Fällen vorherbestimmt, so wie beispielsweise beim Fadenwurm. Dieser ist stets aus der gleichen Anzahl von 959 Zellen aufgebaut, deren Schicksal immer gleich und klar vorhersagbar eintritt. Das aber ist die Ausnahme.

In unserem Beispiel, dem Fischembryo, ist nichts vorherbestimmt. Nach der Befruchtung teilen sich die Zellen in rascher Folge synchron, etwa alle zwanzig Minuten, fast so schnell wie ein Bakterium. Nur zehn Teilungen braucht es, damit sich ein Haufen von 1.000 Zellen bildet. Jetzt verlangsamen einzelne Zellen ihre Teilungsrate, der Zellhaufen setzt sich in Bewegung und schickt sich an, einen Embryo zu formen. Zellen machen sich dazu auf die Wanderschaft, schließen sich zu Gruppen zusammen, beginnen die erkennbare Form eines Embryos einzunehmen und bilden die Anlagen der Gewebe und Organe. Nach gerade einmal 24 Stunden hat sich aus der befruchteten Eizelle ein in seiner Anlage kompletter Organismus ausgebildet. Dabei sind die Zellen ganz klar einem Bauplan gefolgt. Doch war dies wirklich ein Plan, der für jede Zelle einen Platz im Bild vorgesehen hat? Etwa ein Plan, wie wir ihn vom „Malen nach Zahlen“ kennen, wo der Platz für jede Farbe vorgegeben und vorhersagbar ist?

Eine Zeitreise zurück zu den Anfängen

Wenn man jede der Zellen und all ihre Nachkommen von Anfang an verfolgt, lässt sich vom Ergebnis auf den Ursprung schließen. Man unternimmt mit der Zelle gewissermaßen eine Zeitreise zurück zu ihren Anfängen. Ein Vergleich der Ereignisse in verschiedenen Embryonen würde dann klären können, inwieweit Zufall und Chaos die Entwicklung kontrollieren und inwieweit sie vorbestimmt sind. Das Ziel ist, den kompletten Weg aller Zellen durch Raum und Zeit nachzuvollziehen – ausgehend von der befruchteten Eizelle bis hin zu „differenzierten“ Zellen, die innerhalb der Gewebe und Organe spezialisierte Aufgaben übernehmen.

Dies scheint zunächst ein durchaus erreichbares Ziel: Wir nehmen ein Mikroskop, zeichnen alles mit entsprechender Auflösung auf, markieren jede Zelle und verfolgen ihre Entwicklung. Ein ernstes Problem jedoch ist die hohe Energie, die dabei auf den Embryo einstrahlt – innerhalb von 24 Stunden das Äquivalent von zehntausend Sonnen. Der Embryo wird faktisch zu Tode gebleicht. Daher haben wir in Heidelberg ein neuartiges Verfahren entwickelt: die Lichtscheibenmikroskopie. Mit ihr können wir lebenden Embryonen bis zu 24 Stunden live bei der Entwicklung zusehen. Lichtscheibenmikroskope regen einzelne Zellschichten im Organismus zur Fluoreszenz an – durch eine Lichtebeugung, wie sie auch der enge Spalt zwischen zwei Vorhängen erzeugt. Dadurch benötigen sie rund fünftausend Mal weniger Licht als herkömmliche Mikroskope.

Rauschen – ein Grundprinzip auf allen Ebenen

Diese neue Form der Mikroskopie ermöglicht folgende Beobachtungen: Nach der Befruchtung laufen die ersten Zellteilungen synchron ab und orientieren sich an Markierungen, die von der Mutter in der Eizelle abgelegt wurden. Das Muster der Zellteilungen erlaubt es, die Ausrichtung der künftigen Körperachse vorherzusagen. Koordination und Synchronität gehen jedoch rasch verloren, nachfolgende Schritte scheinen chaotisch und zufällig abzulaufen. Der Vergleich der Entwicklung verschiedener Embryonen bestätigt diesen Eindruck: Das Schicksal einer einzelnen Zelle vorherzusagen ist nicht möglich. Das gesamte System scheint zu „rauschen“ – und mit ihm jede Zelle. Ihr Potential, verschiedene Funktionen zu übernehmen, wird mit voranschreitender Entwicklung immer mehr eingeschränkt. Der Bauplan, dem die Zellen folgen, gleicht dabei einer Reihe von Sieben oder Rastern: Bestimmte „Korngrößen“ fallen durch und schlagen einen weiteren Entwicklungspfad ein. Allerdings fluktuieren die Korngrößen der beteiligten Spieler; ihr Schicksal ist somit nicht vorhersagbar.

Das Rauschen erscheint als Grundprinzip auf allen Ebenen: beim Ablezen der Gene und ihrem Übersetzen in Proteine (Expression) ebenso wie bei der Größe und

„Keine 24 Stunden
nach der Befruchtung
ist der Organismus
in seinem Grundriss
fertig.“

beim Verhalten von Zellen. Der Versuch, Zellen in einem Zustand zu fixieren, scheitert. Selbst wenn man einzelne Zellen genau nach diesen Kriterien auswählt und kultiviert, gelingt es nicht, einen bestimmten Zustand zu erhalten. Vielmehr stellt sich das Rauschen wieder ein und mit ihm das gesamte Spektrum an möglichen Zustandsformen. Die Entwicklung erscheint in diesem Licht als ein Selektionsprozess mit verschiedenen Schritten (und Rasterweiten), nicht so sehr als ein Prozess der stufenweisen Instruktion. Die Zellen in dieser Phase der Entwicklung zeigen ein sehr individuelles Verhalten, das mehr einer Ansammlung von Einzelzellen als einem zentral gesteuerten Mehrzeller gleicht.

Wie kommt Ordnung in das Chaos?

Erst wenn der wichtigste Abschnitt der Entwicklung – womöglich unseres ganzen Lebens – beginnt, kommt Ordnung in das Chaos: Nach etwa zehn Teilungsrunden tritt die nunmehr erreichte Ansammlung von 1.000 Zellen in das Entwicklungsstadium der „Gastrulation“ ein. Durch die koordinierte Selektion beziehungsweise Instruktion von Zellen in bestimmten Bereichen des „Zellhaufens“ kommt es zur Etablierung des sogenannten Organisators, einer Gruppe von Zellen, die für die Ausbildung einer kompletten Körperachse Voraussetzung ist.

In dieser Phase der Entwicklung scheint alles ordentlich geregelt und nichts mehr chaotisch abzulaufen: Eine organisierende Struktur dirigiert, die Zellen folgen und bilden die Grundzüge des Körperbauplans. Das ist auch bei näherer Betrachtung nicht falsch – lediglich unscharf. Denn auch hier gelten, auf die einzelne Zelle bezogen, die gleichen Regeln wie in der frühen Entwicklung: Noch immer können wir nicht vorhersagen, welches Schicksal eine Zelle erfahren wird. Auch wenn mit Bezug auf den Zellverband eine Richtung vorgegeben ist – für die einzelne Zelle ist bestenfalls eine Wahrscheinlichkeit definiert, mit der ein bestimmtes Zellschicksal eintritt.

Auch im scheinbar so geordneten Entwicklungsstadium der Gastrulation finden wir also ein Rauschen und auffällige Unschärfen in den Zelleigenschaften, die Raum für die Selektion von Zellen mit ganz bestimmten Merkmalen bieten. Diese Zellen reagieren auf die Signale des Organisators und schlagen entsprechende Wege der Differenzierung ein. Zellen, die dies nicht tun, werden in der Regel eliminiert; oder aber sie werden als potentielle Stammzellen erhalten, die im erwachsenen Organismus für das Wachstum und die Homöostase, das Aufrechterhalten des Gleichgewichtszustands der Organe und des gesamten Organismus, von großer Bedeutung sind. Auch hier folgt die Entwicklung einem einfachen, evolutionär grundlegenden Selektionsprinzip: Was passt, geht auf seinem Entwicklungsweg weiter; was nicht passt, wird eliminiert oder findet als Stammzelle eine Nische.

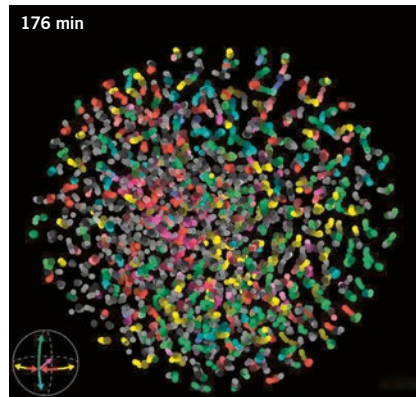


Abbildung 1
Chaos. Die Zellen des frühen Embryos bewegen sich zufällig. Die Farbe gibt ihre Bewegungsrichtung an. Alles ist bunt getupft, es gibt keine gemeinsamen Bewegungen.

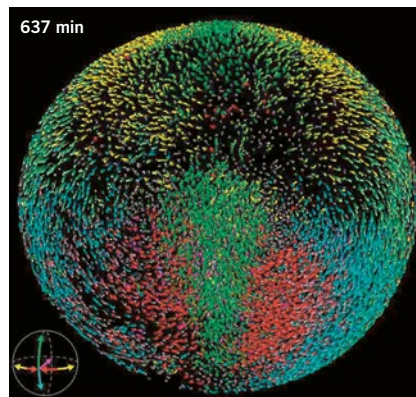


Abbildung 2
Ordnung. Mit Beginn der Gastrulation bewegen sich die Zellen hoch koordiniert und bilden durch dieses „Zellballett“ die zukünftigen Körperachsen und Organanlagen. Die großen Gruppen von einheitlichen Farben zeigen dieses Bewegungsmuster auf.

Die Entwicklung eines perfekten Organs

Ist dieses Prinzip auch auf spätere Entwicklungsschritte oder gar auf das Wachstum und die Regeneration im erwachsenen Organismus anwendbar? Unsere Forschung beweist: ja. Auch wenn dies bislang nicht die Perspektive ist, die in den Lehrbüchern vorherrscht. Exemplarisch zeigen lässt sich das am Beispiel eines perfekt aufgebauten Organs, des Auges: Trotz scheinbar chaotischer Entscheidungen findet es zu seiner Form und Funktion. Das Auge des Fisches, das wir als Modell für unsere Untersuchungen benutzen, unterscheidet sich im Aufbau nicht wesentlich vom menschlichen Auge – mit einer Ausnahme: Es verfügt über eine lebenslang aktive Stammzellzone, die sicherstellt, dass das Fischeauge fortwährend wächst und seine volle Funktionalität behält. Die Stammzellen fallen zu einem bestimmten Zeitpunkt der Entwicklung nicht durch das Raster der Selektion; sie sterben aber auch nicht ab, sondern siedeln sich am äußeren Rand des Augenbeckens an. Innerhalb einer Woche bringt dieser Stammzellreif alle Zelltypen der Netzhaut hervor und lässt das Auge in Ringen wachsen, wie ein Baum. Dadurch hebt sich der Rand des Augenbeckers kontinuierlich an. Gleichzeitig muss das Auge an Umfang zunehmen, um die Form und Funktion des Augenbeckers aufrechtzuerhalten.

„Was passt, geht auf seinem Entwicklungsweg weiter; was nicht passt, wird eliminiert oder findet als Stammzelle eine Nische.“

Ein Ingenieur würde dafür sorgen, dass die Zahl der differenzierten Zellen, die aus der Stammzellteilung hervorgehen, mit der Zeit zunimmt, somit der Umfang des Auges wächst und die Form des Augenbeckers aufrechterhalten wird. Die Evolution jedoch hat eine andere Lösung parat: Der Umfang des Auges vergrößert sich, indem schlafende Stammzellen geweckt werden, die zusätzlich zum Wachstum beitragen. Und auch hier erweist sich: Sowohl der Zeitpunkt als auch die Position der Aktivierung dieser Stammzellen innerhalb des Stammzellringes ist zufällig und nicht vorhersagbar. Auch beim Vergleich verschiedener Augen lässt sich keine Gesetzmäßigkeit erkennen. Dennoch wächst das Auge unter perfekter Aufrechterhaltung der Funktionalität.

Das Chaos als Ordnungsprinzip?

Sind das Rauschen und die Selektion aus dem breiten Spektrum an Eigenschaften als evolutionäre Ordnungsprinzipien anzusehen? Und spielt dies auf allen Komplexitätsebenen eine Rolle – auf der Ebene der Moleküle,

COS: von Molekülen zu lebenden Systemen

Das Centre for Organismal Studies (COS) ist das größte lebenswissenschaftliche Forschungszentrum an der Universität Heidelberg. Ziel der Wissenschaftler am COS ist es, die komplexen biologischen Mechanismen lebender Systeme über alle Größenskalen und Organisationsstufen hinweg zu erforschen: von der molekularen Analyse über die Ebene der Zelle bis hin zur Gesamtheit eines Organismus im Kontext mit seiner Umwelt. 2010 wurde das Zentrum aus einem Zusammenschluss der beiden Heidelberger Institute für Zoologie und Pflanzenwissenschaften gegründet; es gehört zu den zentralen wissenschaftlichen Einrichtungen der Universität.

Das COS ist in 14 Abteilungen und neun unabhängige Nachwuchsgruppen strukturiert; insgesamt besteht es aus 43 Forschungsgruppen. Etwa 250 Mitarbeiter sind an dem Zentrum beschäftigt; sie alle leisten wichtige Beiträge in der Grundlagenforschung und in der Lehre. Viele der Doktoranden am COS sind Mitglieder der Hartmut-Hoffman-Berling International Graduate School (HBIGS). Geschäftsführender Direktor des Forschungszentrums ist Prof. Dr. Joachim Wittbrodt.

www.cos.uni-heidelberg.de



PROF. DR. JOACHIM WITTBRODT forscht und lehrt seit dem Jahr 2007 als Entwicklungsgenetiker und Zoologe an der Universität Heidelberg und ist Gründungs- und Geschäftsführender Direktor des Heidelberger „Centre for Organismal Studies“ (COS). Nach dem Studium und der Promotion im Fach Biologie arbeitete er am Biozentrum Basel und am Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen, bevor er 1999 an das Europäische Molekularbiologische Laboratorium (EMBL) in Heidelberg wechselte. Von 2007 bis 2012 war er neben seiner Tätigkeit an der Universität Heidelberg Direktor am Institut für Toxikologie und Genetik des KIT in Karlsruhe. Seine Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Entwicklungs- und Stammzellbiologie wurden mehrfach ausgezeichnet, unter anderem mit dem Otto-Mangold-Preis der Deutschen Gesellschaft für Entwicklungsbiologie (2009) und dem Lautenschläger-Forschungspreis (2010). 2011 erhielt er für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Stammzellbiologie einen ERC Advanced Grant.

Kontakt: jochen.wittbrodt@cos.uni-heidelberg.de

CHAOS AS AN ORDERING PRINCIPLE?

IN THE BEGINNING WAS THE CELL

JOACHIM WITTBRODT

The miracle of development and the question of how a complex organism grows from a single cell never cease to amaze us. At the end of the process the organism consists of millions upon millions of cells that fulfil special tasks, work together in perfect concert and react to their environment in a unique manner – be it through regeneration and tissue repair or through communication that eventually leads to the development of language and culture. Most text books maintain that embryonic development is a step-by-step process that follows predetermined paths. But new research findings paint a different picture. They suggest that an organism's development is the result of a selection process that is nothing short of chaotic.

Observations of different embryos show that the fate of a single cell in the organism's developmental stage cannot be predicted. The initial potential of the cells to assume various functions is increasingly limited as development progresses. The blueprint which the cells follow can be likened to a series of filters or screens: Certain "grain sizes" slip through and go on to follow another developmental path. However, the grain sizes of the players fluctuate; the entire system is a mass of noise and the ultimate function assumed by a given cell remains unknown.

The noise seems to be a basic principle on any level – in the reading of genes and their translation into proteins just as in the size and behaviour of cells. But why should chaos as an ordering principle be an evolutionary success? The answer lies in the physical nature of chemistry and biology: Everything is in flux and in balance, nothing is definite. Evolutionary selection makes use of this principle and thereby allows both continuity and innovation. ●

PROF. DR. JOACHIM WITTBRODT joined the teaching and research staff of Heidelberg University in 2007. A developmental geneticist and zoologist, he is the Founding and Managing Director of the Heidelberg "Centre for Organismal Studies" (COS). After majoring in biology and earning his PhD, Dr. Wittbrodt worked at Biozentrum Basel and at the Max Planck Institute for Biophysical Chemistry in Göttingen before transferring to the European Molecular Biology Laboratory (EMBL) in Heidelberg in 1999. In the years from 2007 to 2012 he headed the Institute of Toxicology and Genetics at the Karlsruhe Institute of Technology (KIT), in addition to his responsibilities at Heidelberg University. He has received numerous awards for his research in developmental and stem cell biology, among them the Otto Mangold Prize of the German Society of Developmental Biology (2009) and the Lautenschläger Research Award (2010). In 2011, he won an ERC Advanced Grant for his research in stem cell biology.

Contact: jochen.wittbrodt@cos.uni-heidelberg.de

“Everything is in flux, nothing is definite. Evolution makes use of this principle and thereby allows both continuity and innovation.”

der Zelle, des Organismus, der ganzen Population? Beispiele, nach denen beide Fragen zu bejahen sind, sind rasch gefunden. Einige wichtige Fragen jedoch bleiben offen: Wie kommt die Selektion auf den verschiedenen Ebenen ins Spiel und nach welchen Mechanismen werden selektive Raster – bildlich die Siebporen, durch die die Zellen passen müssen – etabliert? Offensichtlich „rauschen“ nicht nur die Einheiten, also die Zellen und ihre Eigenschaften, die selektiert werden; auch auf der Seite des Rasters gibt es ein gewisses Maß an Rauschen. Dabei kann aus zwei relativ unscharfen Domänen plötzlich eine scharfe Grenze werden. Hat die Evolution diese Grenzen also selektiert und ist somit auf die Unschärfe angewiesen – sowohl als Spielfeld wie als strukturierendes Element?

Obwohl alle Komponenten, aus denen wir aufgebaut sind, ein starkes Rauschen aufweisen, bevorzugen wir zu ihrer Beschreibung klare, scharf umrissene Regeln. Diese sind in unserem Denken stärker verankert als die Basis, auf der sie beruhen. Worin aber liegt ein möglicher Vorteil des Ordnungsprinzips Chaos? Oder vielmehr: Warum hat sich das Ordnungsprinzip Chaos evolutionär durchgesetzt? Die Antwort hierauf liegt in der physikalischen Basis von Chemie und Biologie: Alles ist im Fluss und im Gleichgewicht, nichts ist fest definiert. Die evolutionäre Selektion auf allen Ebenen nutzt dieses Prinzip und erlaubt damit beides: Fortbestand und Innovation. Ist Ordnung dann also unnatürlich? Wohl kaum. Denn aus dem Chaos kann Ordnung hervorgehen. Um das zu erkennen, braucht es allerdings Geduld: Man sollte in evolutionären Zeitskalen denken. ●

**„Alles ist im Fluss,
nichts ist definiert.
Die Evolution nutzt
dieses Prinzip und
erlaubt damit sowohl
Fortbestand als auch
Innovation.“**

AUS

DEM

TAKT

AUS DEM TAKT

DER RHYTHMUS DES HERZENS

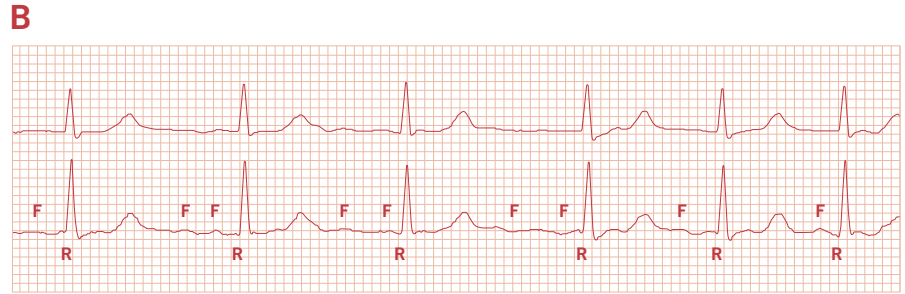
EBERHARD P. SCHOLZ & HUGO A. KATUS

Ununterbrochen pumpt das Herz Blut bis in die kleinsten Gefäße des Kreislaufs – 290 Liter in der Stunde, nahezu 7.000 Liter pro Tag. Kein Muskel unseres Körpers leistet mehr. Mit zunehmendem Alter kann das einzigartige Organ jedoch an Leistungskraft verlieren, beispielsweise wenn es aus dem Takt gerät und den regelmäßigen Rhythmus der Herzschläge nicht mehr gewährleisten kann. Die häufigste Rhythmusstörung des Herzens ist das Vorhofflimmern. Der Arzt kann den veränderten Takt an charakteristischen Zeichen im Elektrokardiogramm erkennen. Schwieriger festzustellen, für die Gesundheit des Herzens aber ebenso abträglich, ist eine andere Form der Rhythmusstörung: das Vorhofflattern.

Abbildung 1

(A) Computersimulation des Vorhofflimmerns in der Vorhofmuskulatur: Die Zentren von drei kreisenden Erregungen sind erkennbar.

(B) Ausschnitt des EKGs eines Patienten mit Vorhofflimmern: Die hochfrequente chaotische Aktivierung der Vorhöfe lässt sich an den Flimmerwellen (F) erkennen. Die Abfolge der Erregung der Herzkammern (R) ist „absolut arrhythmisch“, also unregelmäßig.



E

Ein Kardiologe denkt beim Stichwort „Chaos“ unweigerlich an Vorhofflimmern. Dabei handelt es sich um die häufigste Herzrhythmusstörung des Erwachsenen. Vor allem ältere Menschen sind betroffen: Etwa fünf Prozent der 70-Jährigen und zehn Prozent der 80-Jährigen leiden an Vorhofflimmern. Die Störung des Herzrhythmus geht mit einer erhöhten Sterblichkeit und einem fünffach erhöhten Schlaganfallrisiko einher.

Zu Vorhofflimmern kommt es, wenn die elektrischen Erregungen, die das Herz schlagen lassen, aus dem Takt geraten. Normalerweise breitet sich die Erregung gleichmäßig über die beiden Vorhöfe des Herzens aus. Deren Muskulatur zieht sich daraufhin rhythmisch zusammen, und das Blut wird aus den Vorhöfen in die jeweils zugehörige Kammer gepresst. Bei Vorhofflimmern aber breitet sich die elektrische Erregung nicht gleichförmig, sondern in chaotischer Weise in den Vorhöfen aus und lässt sie „flimmern“.

Abbildung 1A zeigt eine Computersimulation der Störung. Deutlich zu erkennen sind mehrere Erregungszentren in der Vorhofmuskulatur. Von diesen Zentren aus wird das Vorhofflimmern angetrieben. Über den „atrio-ventrikulären

Knoten“ (AV-Knoten) – die einzige elektrische Verbindung zwischen den Vorhöfen und den Herzkammern – setzt sich das Durcheinander der elektrischen Reize bis in die Herzkammern fort. Das ganze Herz schlägt jetzt nicht mehr in seinem gewohnten gleichmäßigen Rhythmus, dem „Sinusrhythmus“. Stattdessen kommt es zu einer „absoluten Arrhythmie“, einer vollständig unregelmäßigen Schlagfolge. Abbildung 1B zeigt das Elektrokardiogramm (EKG) eines Patienten, der an Vorhofflimmern leidet. Das EKG lässt deutlich die hochfrequente, chaotische Aktivierung der Vorhöfe (Flimmerwellen) und die unregelmäßige Erregung der Herzkammern (R-Zacken) erkennen. Anhand dieser Zeichen kann der Arzt das Vorhofflimmern in der Regel rasch diagnostizieren.

Zum Verwechseln ähnlich

Es gibt allerdings eine Rhythmusstörung des Herzens, die nicht so eindeutig zu erkennen ist und häufig mit Vorhofflimmern verwechselt wird: das „Vorhofflattern“. Auch dieser Erkrankung liegt eine Störung der elektrischen Erregung zugrunde, und wie beim Vorhofflimmern kommt es zu einer hochfrequenten Aktivierung der Vorhofmuskulatur. Im Unterschied zum Vorhofflimmern verläuft die elektrische Erregung beim Vorhofflattern aber nicht chaotisch,

SEARCHING FOR ORDER IN THE MIDST OF CHAOS

OUT OF STEP

EBERHARD P. SCHOLZ & HUGO A. KATUS

Day and night, our heart pumps blood through our body and into the smallest capillaries – 290 litres per hour, roughly seven thousand litres per day. No other muscle in our body works harder. As we age, however, our heart may lose some of its strength and may get out of rhythm. The most common type of arrhythmia is atrial fibrillation, a cardiac dysfunction that is associated with serious health consequences including ischemic stroke. The disease is characterised by chaotic high-frequent electrical activation of the atria in combination with an irregular ventricular response. In most cases it can be easily diagnosed based on the patient's electrocardiogram.

There is another form of cardiac arrhythmia that is not as easy to recognise and is often mistaken for atrial fibrillation: atrial flutter. Due to complex conduction phenomena within the atrioventricular node, this disease can also present with irregular ventricular response, thereby mimicking atrial fibrillation in the electrocardiogram. As a consequence, atrial flutter is frequently misdiagnosed as atrial fibrillation in clinical practice, resulting in incorrect treatment of affected patients.

Unfortunately, computerised decision support systems that might help in distinguishing atrial flutter from atrial fibrillation are scarce. In our analyses of the underlying electrophysiological mechanisms of atrial flutter and atrial fibrillation, we were able to identify the main reason for this electrophysiological mimicry. Based on a complex computer simulation of cardiac conduction, we have developed a mathematical algorithm that is able to automatically differentiate between both types of arrhythmia within seconds. Our algorithm may not only provide a much-needed breakthrough in cardiology – it may also open the door for next-generation decision support systems in medical practice. ●

PROF. DR. HUGO A. KATUS has been Medical Director of Heidelberg University Hospital's Department of Cardiology, Angiology and Pulmonology since 2002, and Managing Director of the hospital's Division of Internal Medicine since 2005. He trained at Heidelberg University and at Harvard Medical School in Boston, and worked at Heidelberg University Hospital as resident and chief attending physician before accepting a position at Lübeck University Hospital in 1996. His scientific work led to the development of the "troponin assay" for the clinical-chemical diagnosis of myocardial infarction. His research focuses on the genetic causes and molecular mechanisms of cardiac insufficiency, the development of a cardiac gene therapy and of new pacemaker and defibrillator systems, new ablation techniques and innovative imaging methods.

Contact: sekretariat_katus@
med.uni-heidelberg.de

PD DR. EBERHARD P. SCHOLZ has been a consulting physician in Heidelberg University Hospital's Department of Cardiology, Angiology and Pulmonology since 2011. He studied at LMU Munich and at Heidelberg University, where he became a resident physician in 2005. Dr. Scholz heads a research group for molecular electrophysiology that is funded by the German Research Foundation. His particular interests are the molecular mechanisms involved in the development of cardiac arrhythmia and their therapy. His clinical work focuses on pulmonary vein isolation in patients with cardiac arrhythmia.

Contact: eberhard.scholz@
med.uni-heidelberg.de

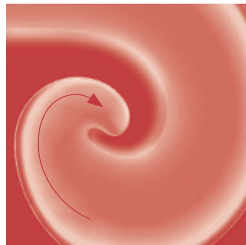
“In up to 80 percent of cases, atrial flutter is misdiagnosed as atrial fibrillation. We have developed a computer model that allows us to reliably differentiate between the two conditions within seconds, based on the patient’s ECG.”

Abbildung 2

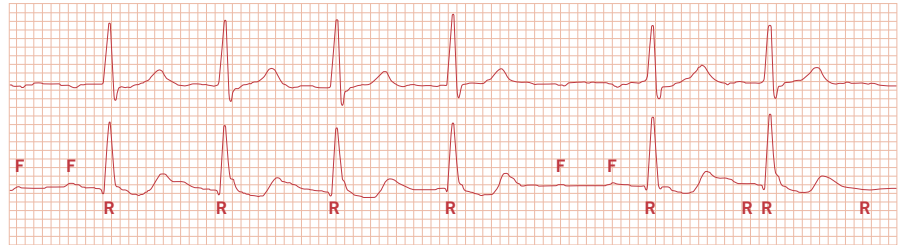
(A) Computersimulation des Vorhofflatters in der Vorhofmuskulatur: Im Unterschied zum Vorhofflimmern ist nur ein einziger Erregungskreis vorhanden.

(B) Ausschnitt des EKGs eines Patienten mit Vorhofflattern: Die Erregung der Vorhöfe lässt sich anhand niederschwelliger, regelmäßiger Flatterwellen (F) nachweisen. Die Abfolge der Erregung der Herzkammern (R) verläuft wie beim Vorhofflimmern häufig unregelmäßig.

A



B



sondern regelmäßig. Sie geht nur von einem einzigen Erregungskreis aus (siehe Abbildung 2A). Dennoch kann das Herz auch hier aus dem Takt geraten, weil der AV-Knoten häufig nicht in der Lage ist, die hohen Frequenzen der Vorhoferregung ordnungsgemäß an die Herzkammern weiterzuleiten (siehe Abbildung 2B).

„In bis zu achtzig Prozent der Fälle wird Vorhofflattern als Vorhofflimmern fehldiagnostiziert.“

Die Diagnose Vorhofflattern ist selbst für erfahrene Kardiologen eine Herausforderung. Neuere Studien bestätigen: Im klinischen Alltag wird ein Vorhofflattern in fünfzig bis achtzig Prozent der Fälle fälschlicherweise für Vorhofflimmern gehalten. Auch für den Patienten sind die beiden Erkrankungen kaum zu unterscheiden: Ähnlich wie Vorhofflimmern führt das Vorhofflattern zu Herzrasen und Herzklopfen. Ein entscheidender Unterschied jedoch ist, dass Vorhofflattern länger anhält und schlechter auf Medikamente

anspricht, sich jedoch in der Regel gut mit einer sogenannten Katheterablation behandeln lässt. Für die Wahl des geeigneten Therapieansatzes ist es daher sehr wichtig, beide Störungen sicher auseinanderhalten zu können.

Ein kleiner, aber feiner Unterschied

Dass es schwierig ist, Vorhofflimmern und Vorhofflattern anhand eines EKGs zu unterscheiden, ist schon lange bekannt. Zahlreiche Forschungsgruppen weltweit arbeiten seit vielen Jahren daran, dieses Problem zu lösen. Dabei haben sie sich folgende Tatsache zunutze gemacht: Liegt ein Vorhofflimmern vor, schlagen auch die Herzkammern absolut unrythmisch. Das lässt sich anhand der chaotischen Abfolge der R-Zacken im EKG feststellen. Beim Vorhofflattern hingegen ist die Abfolge der R-Zacken nicht chaotisch, sondern folgt gewissen Regeln. Erkennbar sind diese allerdings nur, wenn man einen ausreichend langen EKG-Ausschnitt betrachtet.

Mit einem „Lorenz-Plot“ (auch Poincare-Plot genannt) lässt sich dieser Unterschied veranschaulichen. Dabei handelt es sich um ein Koordinatensystem, das auf beiden Achsen eine Zeitskala aufweist. Trägt man die Abfolge der R-Zacken in einer bestimmten Weise in das Koordinaten-

system ein, erhält man eine zweidimensionale Häufigkeitsverteilung der Intervalle. Wenn ein Vorhofflimmern vorliegt, zeigt sich eine achsensymmetrische Punktwolke (siehe Abbildung 3A); sie spiegelt die absolute Unregelmäßigkeit des Herzrhythmus wider. Wenn hingegen ein Vorhofflattern vorliegt, ist die Punktwolke nicht homogen, sondern es zeichnen sich lokale Häufungen ab (siehe Abbildung 3B). Auf diese Weise lässt sich ein Vorhofflimmern deutlich von einem Vorhofflattern unterscheiden.

Klinisch wird diese Methode bereits erfolgreich eingesetzt, beispielsweise um Langzeit-EKGs auszuwerten. Dennoch hat das Verfahren ein entscheidendes Manko: Das charakteristische Bild zeigt sich erst nach und nach mit der zunehmenden Anzahl eingetragener Intervalle. Eine verlässliche Diagnose ist somit nur dann möglich, wenn das EKG über Stunden aufgenommen wird. In der Praxis werden jedoch aus Gründen der Praktikabilität zumeist EKGs erstellt, die lediglich wenige Sekunden abbilden.

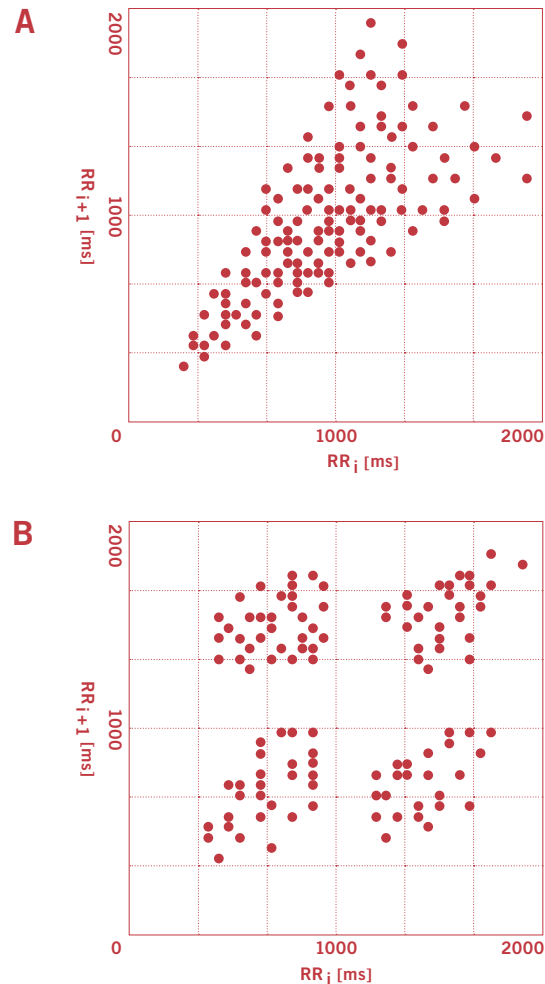
Der Heidelberger Lösungsansatz

Aufgrund der häufigen Fehldiagnosen haben wir in Heidelberg vor einigen Jahren begonnen, an einer Lösung des Problems zu arbeiten. Unser Ziel war es, einen Software-Algorithmus zu entwickeln, der es anhand eines kurzen EKG-Streifens innerhalb von Sekunden erlaubt, Vorhofflimmern von Vorhofflattern zu unterscheiden. Ähnlich wie der Lorenz-Plot machen wir es uns zunutze, dass die Abfolge der Intervalle zwischen den R-Zacken beim Vorhofflattern nicht chaotisch ist, sondern einer logischen Systematik folgt. Dies ist auf ein besonderes Phänomen der Überleitung durch den AV-Knoten zurückzuführen, die „Multilevel-AV-Blockierung“. Hierbei nimmt man an, dass der AV-Knoten aus verschiedenen Blockierungsebenen besteht, die hintereinandergeschaltet sind. Bei Vorhofflattern wird die eintreffende hochfrequente Erregung der Vorhöfe nur unvollständig von Ebene zu Ebene weitergeleitet. Die Addition mehrerer solcher Blockierungen ergibt ein komplexes biologisches Filtersystem, das aus einem regelmäßigen Eingangssignal ein pseudochaotisches Bild erzeugt.

Lange galt die Multilevel-AV-Blockierung nur als akademisch interessant und fand keinen Eingang in den klinischen Alltag. Ein Grund dafür war, dass es zunächst keine leistungsfähigen Rechner gab, die die Blockierungsebenen automatisch analysieren konnten. Mit unserer Idee, die Multilevel-AV-Blockierung als diagnostisches Mittel zu nutzen, wandten wir uns daher an die Arbeitsgruppe von Sebastian Sager, Professor am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) in Heidelberg. Gemeinsam mit seinen Mitarbeitern ist es uns gelungen, das weltweit erste Computermodell zu entwickeln, mit dem sich die komplexen elektrophysiologischen Abläufe simulieren lassen, die während des Vorhofflatterns im AV-Knoten ablaufen. Unser Modell ermöglicht interessante

Abbildung 3

Exemplarische Darstellung eines Lorenz-Plots von Vorhofflimmern (A) und Vorhofflattern (B). Der Plot zeigt die Häufigkeitsverteilung der Intervalle, die zwischen den Erregungen der Herzkammern liegen. Während beim Vorhofflimmern kein bestimmtes Intervall bevorzugt wird, zeichnen sich beim Vorhofflattern lokale Häufungen ab.



PROF. DR. HUGO A. KATUS ist seit 2002 Ärztlicher Direktor der Abteilung für Kardiologie, Angiologie und Pneumologie sowie seit 2005 Geschäftsführender Direktor der Medizinischen Universitätsklinik Heidelberg. Seine wissenschaftliche Ausbildung absolvierte er in Heidelberg und an der Harvard Medical School in Boston. Später arbeitete er als Assistenz- und Oberarzt am Universitätsklinikum Heidelberg und folgte 1996 einem Ruf an die Lübecker Universitätsklinik. Aus seinen wissenschaftlichen Arbeiten ist der „Troponin-Assay“ für die klinisch-chemische Herzinfarkt Diagnostik hervorgegangen. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen genetische Ursachen und molekulare Mechanismen der Herzinsuffizienz, die Entwicklung einer kardialen Gentherapie und neuer Herzschrittmacher- und Defibrillator-Systeme sowie Ablationstechniken und innovative bildgebende Verfahren.

Kontakt: sekretariat_katus@med.uni-heidelberg.de

HERZSCHWÄCHE SCHNELL UND EFFIZIENT ANALYSIERT

SUCHE NACH DER NADEL IM HEUHAUFEN

Ein Fußballer, der ohne Vorwarnung tot auf dem Platz zusammenbricht – die Ursache: plötzlicher Herzstillstand. Immer wieder liest man von solch tragischen Unfällen. Verantwortlich hierfür kann eine erbliche Erkrankung des Herzmuskels sein, die sogenannte Kardiomyopathie. Rund 200.000 Menschen in Deutschland leiden an der angeborenen Herzschwäche. Die Folgen: Herzrhythmusstörungen, im schlimmsten Fall Herzversagen. Bislang war die Suche nach den Auslösern der Kardiomyopathien im Erbgut aufwendig und teuer. Heidelberger Wissenschaftler haben nun ein Analyseverfahren entwickelt, mit dem sämtliche bekannten genetischen Ursachen der Herzschwäche gleichzeitig und kosteneffizient überprüft werden können.

(red) „Derzeit kennen wir rund fünfzig Gene, die – sofern defekt – Kardiomyopathien verursachen oder deren Verlauf ungünstig beeinflussen können“, erklärt Dr. Benjamin Meder, Arzt an der Medizinischen Universitätsklinik Heidelberg. Je nach Fehler im genetischen Bauplan sind bestimmte Abläufe im Herzmuskel gestört. Werden diese frühzeitig diagnostiziert, lassen sich die Folgen der Erkrankung mit speziellen Medikamenten, einer intensiveren Beobachtung oder auch der frühen Versorgung mit einem Defibrillator eingrenzen. Die Vielzahl der genetischen Auslöser macht die Diagnostik mit den gängigen Methoden jedoch arbeitsintensiv und teuer. Daher untersuchen die behandelnden Kardiologen in der Regel nur wenige der fünfzig Gene auf mögliche Defekte. Das kostet sehr viel – und bringt häufig keinen Treffer. „Es ist wie mit der Nadel im Heuhaufen“, so Meder. Viele Betroffene werden daher gar nicht erst genetisch untersucht.

Gemeinsam mit der Firma Siemens AG entwickeln die Heidelberger Forscher neue Analysemethoden basierend auf dem sogenannten „Next-Generation Sequencing“. Mit dieser Methode lassen sich alle fünfzig Gene gleichzeitig überprüfen – ohne zusätzlichen Aufwand. Zunächst werden hierfür nur die für die Krankheit relevanten Abschnitte der Erbinformation (DNS) angereichert: Sie lagern sich an maßgeschneiderte Sonden an, während der uninteressante Teil der DNS ausgewaschen wird. Dann wird das gewonnene genetische Material in einem Arbeitsschritt analysiert und mittels eines Computers auf kritische Veränderungen hin untersucht. In der Regel kann die Krankheitsursache so mit nur einem Test geklärt werden.

Derzeit wird das „Next-Generation Sequencing“ in Heidelberg nur im Rahmen von Forschungsprojekten angewendet. „Wir hoffen aber, unseren Patienten die Methode bald auf breiter Basis anbieten zu können, um damit die Diagnostik bei Kardiomyopathien weiter zu verfeinern“, sagt Benjamin Meder. Für die klinische Praxis bedeutet das neue Verfahren einen großen Fortschritt: Die Erkrankung kann frühzeitig diagnostiziert und damit besser behandelt werden. Zudem kann das neue Verfahren in Zukunft mehr Betroffenen als bisher angeboten werden. Und nicht zuletzt können sich auch Angehörige von betroffenen Patienten gezielt daraufhin untersuchen lassen, ob sie ebenfalls von dem erblichen Gendefekt betroffen sind. ●

A NEW METHOD FOR QUICK AND EFFICIENT ANALYSIS OF CARDIAC INSUFFICIENCY

FINDING THE NEEDLE IN THE HAYSTACK

Without warning, a footballer collapses on the pitch – the cause of death is found to be sudden cardiac arrest. Time and again, we have read of such tragic accidents. They may be caused by a genetic condition of the heart muscle known as cardiomyopathy. About 200,000 people in Germany suffer from this congenital defect which causes cardiac arrhythmia and, at worst, heart failure. Searching for the causal factors of cardiomyopathy in the DNA is a time-consuming and expensive endeavour. But now scientists of Heidelberg University Hospital and of Siemens AG have developed an analytical method that provides a fast and inexpensive means of examining all known genetic causes of cardiac insufficiency.

Today we know of about fifty genes that – if defective – may cause cardiomyopathy or increase the severity of its effects. It is this multitude of potential genetic triggers that makes diagnosis so time-consuming and costly. The new method, known as “Next-Generation Sequencing”, allows doctors to check all fifty genes simultaneously, without additional cost or time expenditure. In a first step, only the DNA sections that are relevant to the disease are enriched: they attach to customised probes while the irrelevant parts of the DNA are washed out. Then the genetic material is analysed and computer-checked for critical changes in a single step. The cause of the patient’s cardiomyopathy can thus usually be determined with only one test.

The new sequencing method represents a breakthrough for patients and their families: If the genetic defect is detected early on, its effects can be counteracted with special drugs, intensive monitoring or early introduction of a pacemaker. At this point, the test is used in medical research only, but it is expected to be introduced to clinical practice before long. ●

neue Einblicke in die Funktion des AV-Knotens. Es hilft, die zugrunde liegenden Krankheitsmechanismen besser zu verstehen – und es erlaubt, in wenigen Sekunden die Struktur im Chaos zu erkennen.

„Ein von uns entwickeltes Computermodell kann erstmals die komplexen elektrophysiologischen Abläufe während des Vorhofflatters simulieren.“

Unsere Kooperation mit den Wissenschaftlern des IWR mündete zwischenzeitlich in einen Software-Prototypen, den wir zum Patent angemeldet haben. Seine Basis ist ein „Brute-Force-Ansatz“, der beliebige Eingangsfrequenzen und verschiedenste Kombinationen von Blockierungsebenen simulieren kann und dabei versucht, eine logische Lösung für eine bestimmte Abfolge von Intervallen zu finden. Diesen Ansatz könnte man auch nutzen, um beispielsweise einen Zahlencode oder ein Passwort zu knacken. Wird eine logische Lösung gefunden, stellt der Algorithmus die Diagnose Vorhofflattern. Findet sich keine logische Lösung, liegt ein chaotisches Muster vor – und mithin ein Vorhofflimmern.

Erste Erfolge in der Praxis

Nach zahlreichen Optimierungsschritten konnten wir die Analysedauer und die Rechenzeit mittlerweile von mehreren Stunden auf wenig mehr als eine Minute pro auszuwertendem EKG verkürzen. Auch den ersten Praxistest hat die neue Software bereits erfolgreich absolviert: Ein klinischer Testlauf erfolgte mit den EKGs von jeweils fünfzig an Vorhofflimmern beziehungsweise Vorhofflattern erkrankten Patienten. Dabei untersuchten wir auch, inwieweit die Treffergenauigkeit des Algorithmus von der Dauer des EKGs abhängig ist. Erstaunlicherweise zeigte sich, dass die höchste Rate korrekter Diagnosen bereits bei einer EKG-Dauer von nur zwanzig Sekunden erstellt wurde. In rund achtzig Prozent der Fälle ermittelte unser Software-Prototyp dabei den richtigen Krankheitsbefund – eine bemerkenswerte Quote.

In externe oder implantierbare EKG-Recorder implementiert, könnte unser Algorithmus wesentlich dazu beitragen, echtes von scheinbarem Chaos zu unterscheiden. Ärzte wären damit künftig in der Lage, Vorhofflimmern und Vorhofflattern sicher zu unterscheiden. Dies ist die Voraussetzung, um Patienten optimal zu versorgen und ihnen die jeweils am besten geeignete Therapie angedeihen zu lassen. ●



PRIV.-DOZ. DR. EBERHARD P. SCHOLZ arbeitet seit 2011 als Facharzt in der Abteilung für Kardiologie, Angiologie und Pneumologie der Medizinischen Universitätsklinik Heidelberg. Sein Medizinstudium absolvierte er an der LMU München und der Universität Heidelberg, wo er von 2005 an als Assistenzarzt tätig war. Er leitet eine von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte wissenschaftliche Arbeitsgruppe im Bereich der molekularen Elektrophysiologie. Im Zentrum seines Forschungsinteresses stehen die molekularen Entstehungsmechanismen von Herzrhythmusstörungen und deren Therapie. Der Schwerpunkt seiner klinischen Tätigkeit ist die Katheterablation von Herzrhythmusstörungen.

Kontakt: eberhard.scholz@med.uni-heidelberg.de



PUBLIC HEALTH
CLIMATE OF UNCERTAINTY
GLOBAL WARMING – A HEALTH RISK
RAINER SAUERBORN

122



MATHEMATIK
DER TANZ DER MOLEKÜLE
MODELLIERUNG DES EXPERIMENTELL UNMÖGLICHEN
ANNA MARCINIAK-CZOCHRA & MORITZ MERCKER

132



MIKROÖKONOMIE
DIE QUAL DER WAHL
MODELLE, PROGNOSEN UND DER STÖRFaktor MENSCH
CHRISTOPH BRUNNER

140



POLITIKWISSENSCHAFTEN
DIE ORDNUNG DER WELT
DER STEINIGE WEG ZU MEHR DEMOKRATIE
SEBASTIAN HARNISCH & MAX-OTTO BAUMANN

148

MODELLE UND SYSTEME



CLIMATE
OF

UN
CERTAINTY

CLIMATE OF UNCERTAINTY

GLOBAL WARMING – A HEALTH RISK

RAINER SAUERBORN

The delicate balance of the Earth's atmosphere facilitates a very special kind of order that has played a crucial role in the success of human societies for more than 10,000 years. However, industrialisation during the past two centuries has created an imbalance that significantly increases the odds of this order being replaced by chaos. One immediate priority must be to prevent the worst predictions from becoming reality through mitigation measures. But with some effects already upon us – many of which could have profound implications for the human health –, it is crucial that we learn how we can better adapt to climate change as well. Otherwise, there could be devastating consequences from the chaos that ensues.



Think of chaos and any number of images might come to mind. For the ancient Greeks, for instance, chaos was the dark silent abyss at the beginning of the world, from which everything came into existence. Today, one might rather think of economic crashes, science experiments gone wrong, or the (seemingly) never-ending expansion of the universe. From our perspective, investigating the health implications of climate change, however, chaos is better described as 'uncertainty of change'.

Often, where chaos exists, very small changes can make a system behave completely differently. And the relatively minute change in atmospheric gas composition as a result of human emissions has indeed left our climate system in a state of uncertainty. Specifically, this uncertainty lies in the nature, extent, locations and timescale of what could be dramatic and devastating shifts in climate balance. From a human health perspective, this raises important questions: Which diseases could proliferate? Which communities will be most vulnerable? How widespread will the impact be? And, perhaps most importantly, how should we react?

Risk and uncertainty

In a high profile meeting in Stockholm this September, researchers on the International Panel for Climate Change (IPCC), of which I am a member, delivered the most exhaustive and authoritative assessment of climate change to date in the first part of their fifth assessment report. Providing an update of knowledge on the scientific, technical and socio-economic aspects of climate change, the report – which is being released in four parts – systematically presents the evolving scientific understanding of anthropogenic climate change, while also aiming to raise public and political awareness of the risks that lie ahead as the climate continues to change. Drawing on and assessing the work of more than 800 scientists and hundreds of research papers, the evidence presented is rock solid: the world is warming, we are to blame, and continued emissions of greenhouse gases will likely cause further warming and disruption to our climate system.

Particularly alarming is the reality that a 4°C rise in global average temperatures is now well within the confidence

range of predictions. Indeed, if mankind continues 'business as usual' and fails to significantly reduce greenhouse gas emissions, climate researchers point to a potentially devastating risk of social, economic and environmental chaos spanning the entire planet. It raises the odds of a cascade of increasing global average temperatures, changes in rainfall patterns, more extreme weather events, and rising sea levels. Perhaps even more striking is that it could severely undermine our natural life support systems, of which climate change is tightly coupled, such as freshwater supply, agriculture, biodiversity, our oceans, the nitrogen cycle, and other key ecosystem services. While the long-term consequences for our societies are hard to predict, this is far from a reality dreamt up by science fiction writers. Indeed, the assessments by the IPCC and international organisations such as the World Bank underscore the fact that it is entirely possible that the ensuing disruption will be on a scale unlike anything we have seen before.

“Often, where chaos exists, very small changes can make a system behave completely differently. The relatively minute change in atmospheric gas composition has indeed left our climate system in a state of uncertainty.”

The notion of a '4°C world' – an often-used figure in worst-case scenario predictions for global average temperature increases by the end of this century from the end of the last one – has drawn attention to the alarming reality that the planet could be on the edge of biological thresholds that, if crossed, could result in unacceptable social and environmental change. This is particularly concerning given that human-induced climate change is already here. In fact, mounting scientific evidence suggests that even the most comprehensive approaches to try to mitigate its effects might not be enough to prevent exposure to at least some of its risks.

On the other hand, scientific research also reveals opportunities to limit the effects of climate change to a '2°C world' – an outcome that could give us a far greater chance of avoiding the worst effects of a destabilised climate. And despite the major transformations required in all sectors of our economies, a key message I want to deliver in this article is one of cautious optimism: we can prevent the

potential chaos of runaway climate change, but only by addressing it with 'order'. This will require better organised and stronger global governance that aims to significantly reduce emissions in industry, services, transport, agriculture and more, while empowering individual, social, institutional, and economic adaptation to the residual effects of climate change in a fair and sustainable way. I will examine this now step by step.

Man as perpetrator

The theme of this edition, chaos and order, is particularly suited for an article on climate change given the delicate balance of the Earth's atmosphere. Recent increases in greenhouse gases stemming from human emissions have disrupted a balance – an order, if you wish –, leading to an increase in global average temperatures of 0.7°C during the past 200 years. During this time, because of us, carbon dioxide levels have nearly doubled. While our climate does change naturally, it usually does so over the course of thousands or tens of thousands of years. The speed and extent of current changes – measurable in merely years or decades – is unprecedented since the times when homo sapiens first emerged in Africa. With seven billion people on the planet and counting (current projections are nine billion by 2050), we are only just beginning to comprehend the full consequences.

Few areas of research have captured the attention and emotions of the public in quite the same way as climate science. The problem of acid rain in the 1970s and the massive ozone depletion discovered in the 1980s presented unprecedented social, environmental and political challenges that transcended national borders. At the beginning of the 1990s, however, growing evidence pointing the finger at mankind being the cause of major changes in global climate patterns spelled the ultimate shift to a new paradigm: Everyone is a potential perpetrator and a potential victim of climate change – albeit in very different ways, since the most immediate and devastating impacts of climate change have been on the world's poorest people, who are least responsible, yet hardest hit.

Perhaps most difficult to comprehend was how just a tiny change in the volumes and exchanges in the carbon cycle (less than one percent of natural flows) could alter the thermodynamic balance of the atmosphere, and potentially affect the conditions for all life on Earth. This is particularly striking when assessing the risks of increased instances of cyclones, sea-level rises, and precipitation changes, as well as the scary prospect of irreversible tipping points, such as the breaking-off of the Western Antarctic ice sheet or reductions in the capacity of the world's climate sinks – our forests and oceans, which absorb as much as fifty percent of current carbon dioxide emissions.

“Climate change could severely undermine our natural life support systems, such as biodiversity, freshwater, and the oceans.”

Scientific models accounting for scenarios of how society might develop in terms of economic growth, population increases, technology development and more give various projections on how the Earth will be affected in the years to come. However, they point unanimously to the reality that a 'business as usual' approach is simply not an option if we are to avoid the planet tipping into an unfavourable state for human development – and this before we even reach the end of this century.

Man as victim

This has particularly worrying implications for the health and well-being of human societies. In 2009, when 'The Lancet' wrote in a commission report that "climate change is the biggest global health threat of the 21st century", it captured worldwide attention: one of the most respected general medical journals was underscoring the importance of an issue that few had thought so directly about in the context of human health.

Just as anthropogenic emissions disrupt the dynamic equilibrium of carbon flows (and hence the 'greenhouse effect'), climate change in all its permutations has multiple effects on the dynamic equilibrium of the determinants of human health. The direct effects of climate change on health include increasing instances of heat stroke, changes in the distribution of organisms that cause disease, and more weather disasters. Perhaps of even greater long-term concern, however, are indirect effects – changes to ecological and geophysical systems that can undermine the fundamental bases of human health: nutrition, water, air, microbes, behaviour, social determinants and the biosphere (see figure 1).

The potential implications for human health in the event of any alternative are shocking. While difficult to predict, research such as bio-mathematical modelling of vector-borne, rodent-borne and water-borne disease transmission has shown that even a small temperature rise can significantly increase instances of the eighty or so climate-sensitive diseases. Other major concerns include malnutrition as a result of drought, flooding, or salination of fertile soils, and increased instances of conditions such as mental illness as a result of social disruption. Our ongoing work on the Fifth Assessment Report strongly suggests that a powerful disturbance in the dynamic balance of the determinants of human health, of the kind we would likely see in a 4°C world, would be unmanageable and irreversible.

While negative health impacts can be best avoided through urgent mitigation efforts, there is now a realisation that some increased risks associated with climate change will be unavoidable. Consequently, adaptation is also needed to reduce human exposure to current and future risks. Renowned epidemiologist Anthony McMichael summed

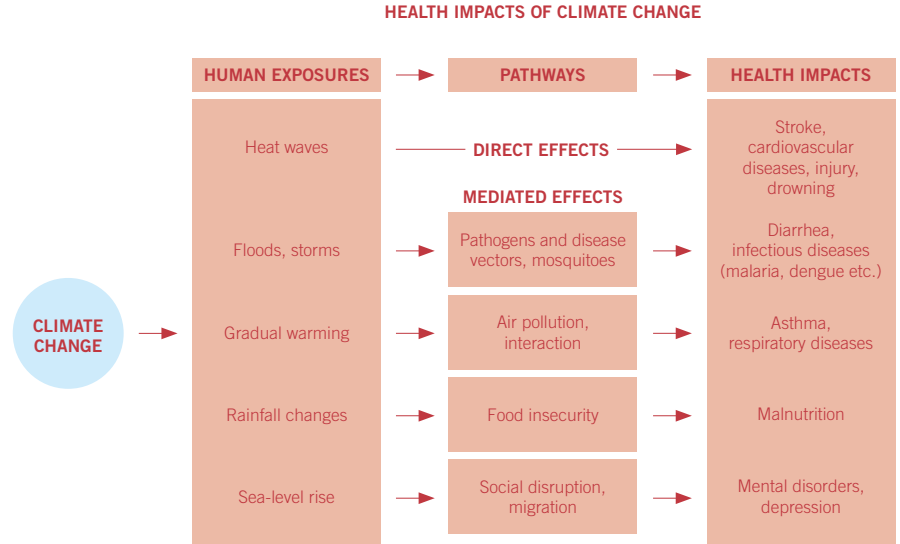


Figure 1
Direct and indirect health effects of climate change

KLIMAWANDEL UND GESUNDHEIT

AUS DEM GLEICHGEWICHT

RAINER SAUERBORN

Die Atmosphäre der Erde befindet sich in einem empfindlichen Gleichgewicht – eine Balance, die mehr als 10.000 Jahre lang die Grundlage für die Entwicklung der Menschheit bildete. In den letzten beiden Jahrhunderten jedoch ist unser Ökosystem durch die Industrialisierung tiefgreifend gestört worden. Falls es nicht gelingt, den Ausstoß von Treibhausgasen deutlich zu verringern und damit die Erderwärmung aufzuhalten, droht das Gleichgewicht auf der Erde zusammenzubrechen – mit verheerenden Auswirkungen für die Umwelt und den Menschen, insbesondere seine Gesundheit.

Zu den Folgen, die direkt spürbar sind, gehören die Zunahme von Hitzschlägen, die verstärkte Ausbreitung von Krankheitsüberträgern wie Malaria-Mücken oder auch die Unterernährung größerer Bevölkerungsgruppen infolge von Dürren, Überschwemmungen und der Versalzung von fruchtbaren Böden. Noch bedenklicher sind jedoch die indirekten Folgen des Klimawandels. Sie betreffen zum einen die natürlichen lebenserhaltenden Systeme, die für die Gesundheit so wesentlich sind – etwa die Nahrung, die wir zu uns nehmen, das Wasser, das wir trinken, und die Luft, die wir atmen. Zum anderen beeinflussen sie aber auch das soziale Gefüge, in dem wir uns bewegen, so dass mit einer steigenden Anzahl psychischer Erkrankungen zu rechnen ist.

Ein erstes Ziel muss es sein, die Erderwärmung durch präventive Maßnahmen wie die Reduktion von Treibhausgasen aufzuhalten. Einige der Auswirkungen des Klimawandels sind allerdings heute schon spürbar und nicht mehr zu stoppen. Entscheidend ist daher, individuelle, soziale und wirtschaftliche Anpassungen an diese Folgen zu fördern. Hierzu sind neue klimapolitische Institutionen erforderlich, die über die Kompetenz verfügen, auch weitreichende und unliebsame Entscheidungen global durchzusetzen. Die Wissenschaft kann dabei wesentliche Beiträge leisten, indem sie eine fundierte Informationsgrundlage für solche Entscheidungen schafft. ●

PROF. DR. RAINER SAUERBORN ist seit 1997 Direktor der Abteilung Tropenhygiene und Öffentliches Gesundheitswesen des Universitätsklinikums Heidelberg. Zudem hat er eine Gastprofessur für „Global Health and Climate Change“ an der Umeå University in Schweden inne. Die Ausbildung zum Kinderarzt absolvierte der Mediziner in Bonn, Heidelberg und London; anschließend forschte er an der Harvard School of Public Health und an der Tufts University in Boston. Anfang der 1980er-Jahre verbrachte Rainer Sauerborn drei Jahre als „District Medical Officer“ in Nouna (Burkina Faso). Seitdem verbindet ihn zahlreiche Forschungsprojekte mit dem Land. Darüber hinaus ist er Mitglied des Weltklimarates IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Kontakt: rainer.sauerborn@
urz.uni-heidelberg.de

„Wir brauchen neue, global wirksame Institutionen und Regeln für die Klimapolitik – andernfalls ist kaum absehbar, wie wir unsere Gesundheit vor den Folgen des Klimawandels schützen können.“

up this challenge well when he wrote: “Mitigation is avoiding the unmanageable, adaptation is managing the unavoidable.” Indeed, both mitigation and adaptation must be applied simultaneously, very much in the way that prevention and curative care are applied in medicine. In the next section, I will consider the contribution our own research plays in this context.

Man as researcher

Policy makers like to act on evidence, particularly so when large sums of money are involved. However, predicting the social and environmental outcomes of climate change is inherently difficult. Developing a higher degree of certainty in relation to this requires modelling of both climate and disease impacts. In health research, for example, statistical inference theory has been widely adopted and terms like ‘confidence interval’ or ‘statistically significant’ have become commonplace. While they cannot be applied to model projections, we can learn a lot from longitudinal data sets from the past covering decades up to now.

One such example can be found in our own research that looks at the relationship between climate variables and health impacts across long time periods. In one study we analysed of total 7,402 deaths in an area of Burkina Faso between the years 2000 and 2010 – of any cause and at any age. We looked at variables such as temperature, rainfall and humidity on the day of the respective deaths, the day before, a week before, and so on. Our research shows that the risk of dying in this African population increases significantly as the temperature the day before death rises above 30°C. For every additional degree, the relative risk of dying goes up by 2.6 percent.

“Policy makers like to act on evidence, particularly so when large sums of money are involved.”

A challenge for health research lies in linking these trends to climate models. We have illustrated how this can be done in studies of malaria, a climate-sensitive disease transmitted by mosquitoes. Malaria reacts very strongly to changes in rainfall and temperature. In our study, we used a process-based malaria model in which temperature and rainfall were important variables and effectively predicted seasonal malaria transmission (see figure 2 for a comparison of this model with observed malaria transmission).

In another strand of research, we looked at changes of the spatial distribution of malaria transmission. We used a satellite-based analysis of land cover and land use data

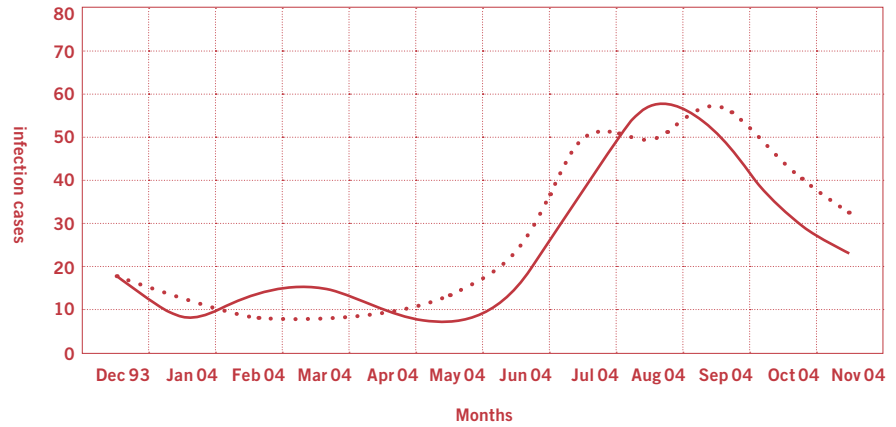


Figure 2
Number of malaria cases in children under five in the village of Goni, Burkina Faso. Model predicted (red dotted line) compared to observed (red line) malaria transmission.



PROF. DR. RAINER SAUERBORN has been heading the Institute of Public Health (formerly Department of Tropical Hygiene and Public Health) of Heidelberg University Hospital since 1997. He trained as a paediatrician in Bonn, Heidelberg and London and completed research stays at the Harvard School of Public Health and Tufts University in Boston. He currently holds the position of a guest professor for “Global Health and Climate Change” at Umeå University, Sweden. In the early 1980s he served three years as a “District Medical Officer” in Nouna (Burkina Faso). Since that time, he has been part of numerous research projects involving this country. Rainer Sauerborn is a member of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Contact: rainer.sauerborn@urz.uni-heidelberg.de

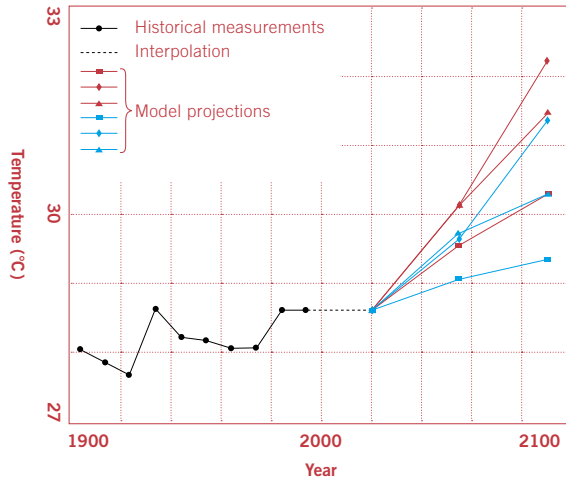


Figure 3
Figure 3 highlights the temperature changes from 1900–2010 and model projections from 2020–2100. The black line shows temperature measurements dating back to colonial times. The red and blue lines indicate projected temperature changes from 2020 to the present, based on six common climate models using information from ten meteorological research stations distributed within the study area.

and identified surface water and surrounding habitats that are favourable breeding sites for the most frequent malaria transmitting mosquito, *Anopheles gambiae*. The project, funded by the Manfred Lautenschläger Foundation, builds on local expertise in our Rhine Valley mosquito control program (KAPS). These mosquitoes do not breed just anywhere there is surface water like one might expect, rather they prefer sunlit, shallow, clean surface water with little vegetation beneath and moderate amounts of vegetation surrounding the site. All of these characteristics are detectable by specialised satellites.

While one cannot obviously ‘see’ the larvae directly, it is possible to detect *Anopheles* breeding sites and classify them according to whether they are likely to host malaria mosquito larvae and how many larvae per square meter they are likely to produce. This was painstakingly corroborated through field studies comparing actual larval densities in hundreds of breeding sites with the predictions based on the satellite images. The detailed maps that resulted from these studies allow local health services to target expensive larvicides to the most productive breeding sites. Knowledge of the timing of mosquito transmission and its spatial changes enable authorities to better direct malaria control efforts to the most ‘dangerous’ times and places – it has reduced both money and resources, as well as potentially saving lives.

This is an example of how research might help communities and health authorities to adapt to changes in the timing and spatial pattern of malaria due to climate change. It shows how research can and should provide information on the health impact of climate change both under different scenarios and for different time horizons. It also highlights the potential effectiveness and costs of adaptation policies to protect populations from climate change-related health hazards. Next, we aim to predict the future impact of climate change on major diseases using climate models – quantitative methods that simulate interactions of the atmosphere, oceans and on land. Typically existing models have a resolution that is too coarse for our purposes, however with the help of David Hondula from the University of Virginia, we effectively downscaled the model to a finer resolution (see figure 3).

Man as actor?

Countless studies highlight the importance of strategies to both mitigate and adapt to the effects of climate change in a manner that is both sustainable and fair. The question now is: Do we have the willing to push them forward? The discovery of a human influence on the ozone layer and the international agreement drawn up to address it through the Montreal Protocol did not provoke societal discussions nearly as far-reaching or emotive as the science of climate change. The treaty, which came into effect in 1989 and

has been very effective in meeting its objectives, was comprehensive, legally binding, and received widespread governmental support. Unfortunately, current global governance is proving weak and toothless when it comes to legislation to address climate change.

While the World Trade Organization (WTO), for example, wields immense powers in setting and enforcing trade policies, nothing of this kind exists for emissions policy. The UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) was signed by 154 heads of state in Rio de Janeiro in 1992, but its fatal flaw is that it is non-binding. The Kyoto Protocol to the UNFCCC, signed in 1997, was indeed binding but was insufficient – just a small number of countries signed up to binding commitments to reduce emissions. Many of the world’s major polluters did not. Nor did low and middle-income countries in protest of the unfair share of costs between rich and poor. Attempts at new initiatives by the UN in high-profile conferences in Copenhagen, Doha, and Rio have further revealed gridlock in moving towards a global solution – economic problems or vacillating leadership often prioritised over the climate vision the world so badly needs.

Managing human activities that lead to climate change is more difficult than regulating the emissions of chloro-fluorocarbons. It calls for changes that are at the heart of most societies – farming, industry, travel, energy, leisure, you name it. Meeting the challenges will require us to address issues, for instance how power is wielded, the role of key stakeholders such as non-governmental organisations and multinational corporations, and how decisions are made and enforced. In short, we need a new global order of institutions and processes for developing climate policy. Without this, it is difficult to see how our health can be protected from the chaos of climate change. ●

“In short, we need a new global order of institutions and processes for developing climate policy.”

DER

Z

T

N

A

DER MOLEKÜLE

DER TANZ DER MOLEKÜLE



PROF. DR. ANNA MARCINIAK-CZOCHRA forscht und lehrt seit dem Jahr 2004 am Heidelberger Zentrum für Modellierung und Simulation in den Biowissenschaften (BIOMS) sowie am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) der Universität Heidelberg. Sie war als Gastwissenschaftlerin an zahlreichen internationalen Forschungsstätten tätig, darunter am Institut für Mathematische Biowissenschaften, Columbus (Ohio, USA), an der Rice Universität, Houston (Texas, USA), sowie an der Universität Warschau (Polen). Ihre Forschungsinteressen umfassen die mathematische Modellierung sowie die angewandte Analyse und Simulation mit Anwendungen in den Biowissenschaften. Seit August 2007 ist Anna Marciniak-Czochra wissenschaftliche Mitarbeiterin im WIN-Projekt „Der Mensch ist so alt wie seine Stammzellen“ der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Darüber hinaus ist sie assoziiertes Mitglied des Internationalen Graduiertenkollegs „Komplexe Prozesse: Modellierung, Simulation und Optimierung“ am IWR.

Kontakt: anna.marciniak@iwr.uni-heidelberg.de

MODELLIERUNG DES EXPERIMENTELL UNMÖGLICHEN

ANNA MARCINIAK-CZOCHRA & MORITZ MERCKER

Wie von Zauberhand entstehen in biologischen Geweben aus einfachen oder chaotischen Systemen Muster und Formen. Viele der daran beteiligten Komponenten sind in den vergangenen Jahren identifiziert worden, die ursächlichen Mechanismen jedoch liegen zumeist noch im Dunkeln. Heidelberger Wissenschaftler nutzen Methoden der Mathematik, um eines der großen Rätsel der Biologie zu lösen: die selbstorganisierte Musterbildung in Zellen und Geweben.

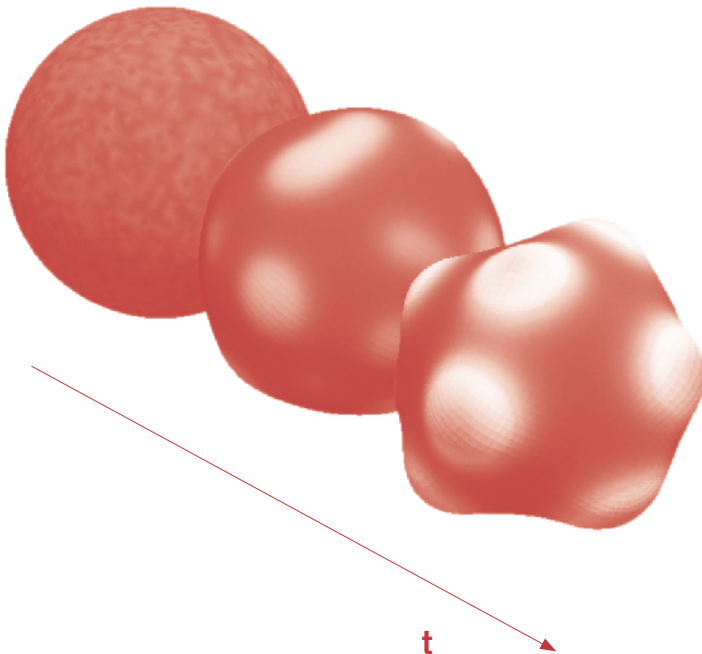


DR. MORITZ MERCKER wechselte nach seinem Studium der Biologie in Kiel 2006 an die Universität Heidelberg, wo er Mathematik mit den Schwerpunkten angewandte Mathematik und Modellierung in den Biowissenschaften studierte. Von 2008 bis 2012 wurde er am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) über die Entwicklung mathematischer Modelle für deformierende biologische Oberflächen promoviert. Nach einem Jahr als Vogelwart (2012) auf der Nordsee-Insel Trischen kehrte er 2013 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an das Institut für Angewandte Mathematik (IAM) nach Heidelberg zurück. Sein Forschungsschwerpunkt ist die mechano-chemische Musterbildung in Geweben und Membranen.

Kontakt: moritz.mercker@iwr.uni-heidelberg.de

Abbildung 1

Die Grafik zeigt die Simulation von Musterbildung in einer Gewebekugel. Schon einfache Interaktionen zwischen Mechanik und Chemie lassen spontan aus Chaos Muster entstehen.



G

Ganz von selbst entwickelt sich ein kleines, in die Erde gepflanztes Samenkorn zu einer großen Pflanze. Die Fähigkeit des Lebens, aus etwas Einfachem etwas Komplexes entstehen zu lassen, zieht sich durch nahezu alle biologischen Prozesse in allen Größenordnungen: Nicht nur die Gewebe eines sich entwickelnden Lebewesens bilden in selbstorganisierter Weise zahlreiche Muster aus, auch im mikroskopischen Bereich und innerhalb jeder Zelle finden zu jedwedem Zeitpunkt Musterbildungsprozesse statt. Ein Beispiel sind Biomembranen: Diese vielfältig geformten und unterschiedlich funktionierenden Oberflächen können ohne Zugabe von Energie aus chaotisch angeordneten Molekülen entstehen.

Im Laufe der Entwicklung ändert sich die Form eines biologischen Systems oft drastisch. Bei der Embryonalentwicklung etwa ist zu beobachten, wie aus einem einfachen Gewebeball ein kompliziert geformtes Lebewesen entsteht (siehe Abbildung 1). Diese Formveränderungen, die man bei vielen Organismen schon mit bloßem Auge sehen kann, zählen wir zu den mechanischen Mustern. In dieser Klasse fassen wir verschiedene Muster zusammen, die durch physikalische Kräfte in den biologischen Oberflächen entstehen. Neben den bereits genannten Deformationen können das auch Größen sein, die sich weniger direkt beobachten lassen, etwa die Steifigkeit oder andere elastische Eigenschaften der Oberflächen. Mit neuen experimentellen Methoden wurde in den letzten Jahrzehnten allerdings noch eine ganz andere Art von Mustern aufgespürt, die bei der Entwicklung von Geweben und Membranen eine wichtige Rolle spielen: chemische Muster.

Vom gepunkteten Barsch bis zum gestreiften Zebra

Unter chemischen Mustern verstehen wir frei diffundierende und miteinander reagierende Moleküle, die sich in Oberflächen in bestimmter Art und Weise verteilen. Die Verteilung der Moleküle ist oft charakteristisch für den jeweiligen Entwicklungsschritt. Man kann zudem beobachten, dass mechanische und chemische Muster räumlich und zeitlich oft zusammen auftreten.

Das bekannteste Modell zur chemischen Musterbildung in Geweben stammt von dem britischen Mathematiker Alan Turing. Er stellte das Modell im Jahr 1952 auf - lange

bevor die entsprechenden chemischen Moleküle entdeckt waren. Seitdem hat sich Turings Modell bei der Erforschung biologischer Musterbildungsprozesse als richtungweisend erwiesen. Viele dieser Prozesse werden heute mit „Turing-Mechanismen“ erklärt. Beispiele sind Musterbildungsprozesse in der Haut – vom gepunkteten Barsch bis hin zum gestreiften Zebra.

Auch in der Membranforschung waren die chemische und die mechanische Musterbildung früher relativ strikt voneinander getrennt. Im Allgemeinen ging man davon aus, dass sich zuerst die chemischen Muster ausbilden, die dann Formveränderungen der Membranen veranlassen. Auf diese Weise ließen sich einfache Membranstrukturen gut erklären.

Dennoch liegen auch sechzig Jahre nach den Pionierarbeiten von Alan Turing viele biologische Mechanismen der Musterbildung im Dunkeln. Mit chemischen Modellen allein lassen sie sich oft nicht hinreichend erklären. Das trifft vor allem dann zu, wenn Oberflächen stark deformiert werden. In Geweben etwa geschieht dies natürlicherweise während der frühen Embryonalentwicklung, zelluläre Membrane hingegen können zum Beispiel auch durch Viren beschädigt werden, die Zellen befallen und krank machen. Die Frage ist: Wenn die Strukturen nicht durch chemische Muster organisiert werden – wie dann?

Ein Tanz von Chemie und Mechanik

Jüngere Forschungsergebnisse liefern spannende Antworten auf diese Frage. Bislang wurde die Forschung von der Vorstellung bestimmt, dass die chemischen Vorgänge bei biologischen Entwicklungsprozessen ausschlaggebend und mechanische Muster eher als passives Nebenprodukt zu verstehen sind. Mittlerweile deuten Experimente darauf hin, dass die Bedeutung der Mechanik bei der biologischen Entwicklung unterschätzt wurde. Sie scheint nicht nur ein passives Resultat chemischer Prozesse zu sein, sondern ist oft aktiv an der Musterbildung beteiligt. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass die mechanischen Deformationen biologischer Oberflächen chemische Muster kontrollieren – und sogar komplette Entwicklungsschritte einleiten.

Solche experimentellen Hinweise erfordern ein drastisches Umdenken, will man biologische Entwicklungsprozesse erklären: Oft scheint es nicht die Chemie alleine zu sein, die biologische Muster entstehen lässt. Es scheint sich eher um eine Art Tanz zwischen Chemie und Mechanik zu handeln.

Die Grenzen des experimentell Möglichen

In den letzten Jahrzehnten hat sich die molekularbiologische Forschung rasant entwickelt. Sehr viele Moleküle wurden identifiziert, die während bestimmter Entwick-

lungsschritte in Membranen oder Geweben aktiv sind. Die beteiligten Moleküle zu kennen, bedeutet aber noch lange nicht, erklären zu können, wie bestimmte Formen und chemische Muster entstehen. Vergleichbar ist die Situation mit einem Elektrogerät, das zwar in seinen Einzelteilen vorliegt – wie es funktioniert, weiß man dann aber noch lange nicht.

„Die Fähigkeit des Lebens, aus etwas Einfachem etwas Komplexes entstehen zu lassen, zieht sich durch nahezu alle biologischen Prozesse.“

Erschwert wird die Forschung dadurch, dass Experimente oft nur eingeschränkt möglich sind. Wichtige biologische Prozesse finden beispielsweise häufig auf so kleiner Skala statt, dass man sie nicht mit dem Mikroskop beobachten, geschweige denn messen kann. Hinzu kommt, dass in Lebewesen unglaublich viele und teilweise noch gänzlich unbekannt Prozesse gleichzeitig auf kleinstem Raum stattfinden. Der Forscher steht dann vor dem Problem, einzelne Prozesse experimentell eindeutig aus dem vermeintlichen Chaos herauszufiltern und unerwünschte Nebeneffekte zu vermeiden. Nicht zuletzt ist die Mechanik experimentell schwerer zugänglich, messbar und vorhersehbar als die Chemie.

Die Lösung: mathematische Modellierung

Hier setzen die Forschungsarbeiten unserer Gruppe „Modellierung und Analysis in den Biowissenschaften“ im Institut für Angewandte Mathematik der Universität Heidelberg an: Wenn man mit experimentellen Methoden zunächst nicht weiterkommt, kann die mathematische Modellierung ein wichtiges weiterführendes Werkzeug biowissenschaftlicher Forschung sein.

Wie gehen Mathematiker vor, um einen biologischen Prozess der Musterbildung zu erforschen? Zunächst entwickeln wir mathematische Modelle und Computerprogramme, die es uns erlauben, den biologischen Vorgang zu simulieren. Diese virtuellen Experimente haben gegenüber realen Experimenten den Vorteil, dass sie kaum Einschränkungen unterworfen sind. Wir können beispielsweise auch Prozesse simulieren, die mikroskopisch unzugänglich sind. Auch einzelne Eigenschaften der Systeme können wir virtuell gezielt verändern und anschließend theoretisch betrachten, wie sich diese Veränderungen auswirken. In realen Experimenten ist das oft gar nicht oder nur mit großem Aufwand möglich. Das reale Experiment bleibt jedoch keinesfalls

ausgeschlossen: Anders als in der „reinen“ Mathematik lebt unsere Forschung vom engen Kontakt zum biologischen Experiment. Unsere Modelle sind nicht die Realität – sie sind stets nur vereinfachte Beschreibungen tatsächlich existierender biologischer Systeme, die sich auf bestimmte Annahmen gründen. Eine solche Annahme kann beispielsweise eine Theorie sein, mit der wir versuchen zu erklären, auf welche Art und Weise Mechanik und Chemie zusammenspielen, um ein bestimmtes Muster in Geweben oder Membranen zu erzeugen. Wenn unsere Simulationen dann mit tatsächlichen experimentellen Ergebnissen übereinstimmen, kann dies als erster Hinweis gelten, dass unsere Theorie richtig ist. Nun kommt das Modell erneut zum Einsatz – diesmal, um unter veränderten Bedingungen experimentelle Ergebnisse vorherzusagen. Diese Vorhersagen wiederum lassen sich erneut im realen Experiment überprüfen. In diesem engen Wechselspiel von Simulation und Experiment nähern wir uns der Realität Schritt für Schritt an.

Mit der mathematischen Modellierung der Interaktion von mechanischer und chemischer Musterbildung haben wir in Heidelberg eine wissenschaftliche Ausrichtung etabliert, die sich weltweit bislang nur selten findet. Unser Forschungsgebiet ist noch jung; sowohl die experimentellen wie die theoretischen Methoden stehen noch am Anfang. In jedem Fall aber gilt: Beide Disziplinen – Theorie und Experiment – sind in hohem Maße aufeinander angewiesen. Ohne theoretische Methoden ist es zumeist nicht möglich, experimentelle Daten zu interpretieren – und ohne experimentelle Daten können wir keine mathematischen Modelle erstellen.

Vielfältige Anwendungen

Das Themenfeld, das wir in dieser eng aufeinander bezogenen Weise bearbeiten, ist breit. Denn die Prozesse der biologischen Musterbildung sind so vielfältig wie die Biologie selbst. Mit unserem Ansatz konnten wir in den letzten Jahren zahlreiche grundlegende Einblicke in biologische Prozesse gewinnen. Ein Beispiel sind Forschungsarbeiten, die zeigen, in welcher Weise die mechanischen Eigenschaften von Molekülen bestimmen, an welcher Stelle sich diese in Membranen aufhalten: Simple Unterschiede in Form, Länge oder Steifigkeit scheinen es zu sein, die den Aufenthaltsort der Moleküle in der Membran maßgeblich beeinflussen – und damit auch die resultierenden makroskopischen, chemischen und mechanischen Muster.

Auch von unseren Arbeiten zur Musterbildung in Geweben gibt es Neues zu berichten. Hier zeichnet sich ab, dass bereits sehr einfache Interaktionen zwischen Mechanik und Chemie eine Vielzahl chemischer und mechanischer Muster erzeugen können. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu rein chemischen Modellen, die in der Regel auf recht komplizierten Interaktionen basieren. Die neuen

BIOMS: Modellierung und Simulation in den Biowissenschaften

Das „Center for Modelling and Simulation in the Biosciences“ (BIOMS) wurde Anfang 2004 als erstes deutsches Zentrum für Modellierung und Simulation in den Biowissenschaften gegründet. Es ist Teil des Heidelberger BioQuant, einer zentralen wissenschaftlichen Einrichtung der Universität, an der Forscherinnen und Forscher verschiedener Fachrichtungen gemeinsam auf dem Gebiet „Quantitative Analyse molekularer und zellulärer Biosysteme“ arbeiten.

Ziel der Wissenschaftler von BIOMS ist es, lebende Systeme in ihrer Gesamtheit zu erschließen. Hierzu werden biologische Prozesse nicht mehr nur „in vivo“ oder „in vitro“, sondern auch „in silico“ – also am Computer – analysiert. Basierend auf theoretischen und experimentellen Erkenntnissen entwickeln die Forscher Modelle biologischer Vorgänge, fassen sie in mathematische Formeln und simulieren sie unter unterschiedlichsten Bedingungen am Computer. An BIOMS beteiligt sind Wissenschaftler der Universität Heidelberg – darunter auch Prof. Dr. Anna Marciniak-Czochra –, des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ), des European Molecular Biology Laboratory (EMBL), des Heidelberg Institute for Theoretical Studies (HITS) und des Max-Planck-Instituts für Medizinische Forschung.

www.bioms.de

mechano-chemischen Modelle können künftig herangezogen werden, um Schritte der Embryonalentwicklung zu erforschen, die durch rein chemische Modelle bislang nicht zu erklären sind.

„In einem engen Wechselspiel von Simulation und Experiment nähern wir uns schrittweise der Realität.“

Ein weiterer Schwerpunkt unserer Forschung gilt der Frage, wie sich Stammzellpopulationen entwickeln. Wir haben unsere mathematischen Modelle beispielsweise angewendet, um herauszufinden, was Stammzellen von sogenannten differenzierten Zellen unterscheidet: Aus Stammzellen können verschiedene Zelltypen mit definierten Aufgaben hervorgehen. Aus den Stammzellen des Blut bildenden Systems beispielsweise entstehen alle Zellen des Blutes mit ihren unterschiedlichen Funktionen, also rote und

MODELLING THE EXPERIMENTALLY IMPOSSIBLE

DANCE OF THE MOLECULES

ANNA MARCINIAK-CZOCHRA & MORITZ MERCKER

One of the most fascinating characteristics of biological systems is their ability to organise pattern formation on their own: Based on simple or chaotic systems, various chemical and mechanical patterns appear during many different biological processes. One prominent example is embryonic development, where a tissue sphere develops step by step into an organism of complex shape and functioning. However, we do not observe pattern formation only at tissue level, but at cellular and subcellular levels as well: In each cell of a living being, various chemical and mechanical patterning processes take place at every moment. Biomembranes, for example, continuously emerge as complex structures from initially chaotically distributed molecules.

During the last decades, molecular biological methods have advanced to an extraordinary level. Researchers have identified various molecules involved in the biological processes of pattern formation. However, the question of how these molecules create patterns and structures often remains unanswered. Previous models based primarily on chemical interaction appear to be inadequate in many cases. In fact, recent experiments suggest that a combination of chemical and mechanical processes may be at the root of many patterning processes. But the experiments required to further investigate these processes are often subject to severe limitations.

Whenever experiments are difficult to perform and interpret, theoretical methods are a powerful tool in bioscience. Hence, we develop and use mathematical models to investigate different biological patterning processes, e.g. processes involved in embryonic development, virus infections, cancer growth and stem cell differentiation. Simulations allow us to avoid the severe limitations of experiments and to test different biological hypotheses. In the near future, the close interplay between experimental data and theoretical methods may be the key to a deeper understanding of the mystery of biological pattern formation. ●

PROF. DR. ANNA MARCINIAK-CZOCHRA has been teaching and conducting research at Heidelberg University's Institute for Applied Mathematics and at the Interdisciplinary Center for Scientific Computing (IWR) since 2004. In 2008, she became head of the research group "Applied Analysis and Modelling in Biosciences", which is associated with the Heidelberg Center for Modelling and Simulation in the Biosciences (BIOMS) and the BioQuant centre for biosciences. She was a guest scientist at numerous international research organisations and, as research group leader, maintains a strong network of global collaborations. Her research interests are mathematical modelling and the analysis and simulation of multiscale systems in biology. Prof. Marciniak-Czochra is a member of the Heidelberg Academy of Sciences and Humanities and of the Collaborative Research Centre "Maintenance and Differentiation of Stem Cells in Development and Disease".

Contact: anna.marciniak@iwr.uni-heidelberg.de

DR. MORITZ MERCKER studied biology in Kiel before transferring to Heidelberg University in 2006, where he majored in mathematics with a focus on applied mathematics and modelling in the biosciences. He earned his PhD at the Interdisciplinary Center for Scientific Computing between 2008 and 2012 with a thesis on the development of mathematical models for deforming biological surfaces. After a year working as ornithological warden on the island of Trischen in the North Sea (2012), he accepted a position as research associate at the Heidelberg Institute for Applied Mathematics (IAM) in 2013. His research focuses on mechanical-chemical pattern formation in tissues and membranes.

Contact: moritz.mercker@iwr.uni-heidelberg.de

“The importance of mechanical processes in biological pattern formation has long been underestimated. We are now approaching reality step by step through close interaction between simulations and experiments.”

weiße Blutkörperchen sowie Blutplättchen. In der Biologie nennt man Zellen, die im Organismus eine genau festgelegte Aufgabe erfüllen, „differenzierte“ Zellen.

Charakteristisch für Stammzellen ist, dass sie nicht nur differenzierte Zellen aus sich hervorgehen lassen, sondern auch dazu fähig sind, sich selbst zu erneuern: Wenn sie sich teilen, bilden sie stets auch weitere Stammzellen. Auf diese Weise bleibt die Stammzellpopulation dauerhaft als Reservoir für den Zellenachschub erhalten. Unsere Modellierungen zeigen, dass Stammzellen diejenigen Zellen sind, die am widerstandsfähigsten gegenüber Störungen des Organismus sind – eine Eigenschaft, die oft gleichbedeutend damit ist, dass sich Stammzellen stärker selbst erneuern als alle anderen Zelltypen.

Im Fall von Blutkrebs werden die Blut bildenden Zellen von mutierten Zellen verdrängt. Neuerdings geht man davon aus, dass die entarteten Blutzellen von sogenannten Krebsstammzellen abstammen könnten. Unsere mathematischen Modelle und Computersimulationen ergaben, dass die Verdrängung der gesunden Zellen desto schneller vor sich geht, je stärker sich die Krebsstammzellen selbst erneuern. Die ständige Selbsterneuerung scheint dabei wichtiger zu sein als die schnelle Zellteilung der mutierten Zellen. Diese auf der Basis von mathematischen Modellen formulierte Hypothese kann in Zukunft helfen, einige Arten von Blutkrebs besser zu verstehen und neue Therapieansätze zu entwickeln.

Herausforderungen der Zukunft

In den vergangenen Jahrzehnten wurden viele Moleküle identifiziert, die an biologischen Musterbildungsprozessen beteiligt sind. Die große Herausforderung der nächsten Jahre wird es sein herauszufinden, wie diese Moleküle bei der selbstorganisierten Musterbildung miteinander und mit der Umgebung wechselwirken. Unser übergeordnetes Ziel ist es, weiter zu ergründen, wie die schier unendliche Vielfalt biologischer Formen und Muster entsteht. Das enge Zusammenspiel von Experiment und Theorie wird für dieses Verständnis sicherlich ausschlaggebend sein. ●

„Die mathematische Modellierung hilft, die Grenzen des experimentell Unmöglichen zu überschreiten.“

DIE QUAL DER WAHL

DIE QUAL DER WAHL

CHRISTOPH
BRUNNER

MODELLE, PROGNOSEN UND DER STÖRFAKTOR MENSCH

Ökonomen erstellen Modelle – Modelle zur Preisentwicklung, zur Abhängigkeit von Nachfrage und Angebot oder zum menschlichen Entscheidungsverhalten. Das Ziel dabei ist es, klare Prognosen zu formulieren, Planungssicherheit zu schaffen und die Wahl zwischen verschiedenen Optionen zu erleichtern. Immer dann aber, wenn der Faktor Mensch ins Spiel kommt, wird die Modellbildung schwierig. Denn das menschliche Verhalten folgt keinem vorhersehbaren Muster; kaum ein Mensch handelt ausschließlich rational und zielorientiert. Diese Unsicherheit muss ein gutes Modell einkalkulieren – für die Wissenschaft ist das eine große Herausforderung.

S

Stellen Sie sich vor, Sie befänden sich in einer Ihnen unbekanntem Stadt in einem Land, dessen Sprache Sie nicht beherrschen. Sie stehen an einer Straßenecke, an der sich zwei Restaurants befinden. Für welches der beiden Lokale sollen Sie sich entscheiden? Wenn es sich um eine Stadt mit vielen Touristen handelt, müssen Sie davon ausgehen, dass die meisten anderen Passanten ebenso wenig wie Sie wissen, welches der beiden Restaurants besser ist. Dennoch kann es nützlich sein, die Entscheidungen der anderen potentiellen Gäste zu beobachten, denn einige von ihnen werden Einheimische sein, die beide Restaurants bereits getestet haben. Das Problem dabei: Den Einheimischen ist ihre Herkunft nicht anzusehen.

Nichtsdestotrotz gibt es eine Möglichkeit herauszufinden, welches der beiden Lokale besser ist. Stellen Sie sich an die Straßenecke, wenn beide Restaurants noch leer sind, und beobachten Sie, wie sich andere Passanten entscheiden. Touristen werden jenes Restaurant frequentieren, für das sich bereits andere Gäste entschieden haben – es könnte ja sein, dass sich darunter ein Einheimischer befindet. Sobald jedoch jemand das noch leere Lokal betritt, obwohl sich im anderen Restaurant bereits Gäste befinden, wissen Sie, dass es sich um einen Einheimischen handeln muss und dieses Lokal das bessere ist. So kann aus der Struktur der Entscheidungen anderer eine wertvolle Erkenntnis gewonnen werden.

Die wenigsten allerdings wären zu einem solch umständlichen und zeitraubenden Vorgehen bereit. Viel einfacher wäre es, auf Grundlage der bereits anwesenden Anzahl von Gästen eines der beiden Lokale zu wählen. Was aber ist in diesem Fall schlauer: der Mehrheit zu folgen, wie man gemeinhin annehmen wird, oder doch eher der Minderheit? Um die Situation systematisch durchzuspielen, haben die US-amerikanischen Ökonomen Steven Callander und Johannes Hörner sie in einem formalen Modell abgebildet. Unter der Voraussetzung, dass der Anteil der Einheimischen gering ist, zeigt sich: Wenn alle Entscheidungsträger rational handeln und davon ausgehen, dass die anderen ebenso verfahren, ist es tatsächlich besser, der Minderheit zu folgen.

Nehmen wir zum Beispiel an, dass zehn Gäste in dem einen Restaurant sitzen und nur einer im anderen. Dann kann diese Verteilung genau auf zwei Arten entstanden sein: Entweder der einzelne Gast ist als erster eingetroffen und hat sich zufällig entschieden oder er ist ein Einheimischer und hat sich in das noch leere Restaurant gesetzt, obwohl im anderen bereits Gäste zugegen waren. Die Wahrscheinlichkeit, dass das zweite Szenario für die beobachtete Verteilung verantwortlich ist, ist größer. Folglich würde ein rationaler Agent der Minderheit folgen.

Vereinfachende Annahmen sind unerlässlich

Spätestens an dieser Stelle ließe sich einwenden, dass die beschriebene Situation nur beschränkt der Realität entspricht. Bestimmt gibt es mehr als nur zwei Restaurants, nicht allen Gästen schmeckt das gleiche Essen und manch einer wird ein leeres und damit ruhiges Restaurant bevorzugen. Im Zeitalter der Smartphones wäre es zudem ein Leichtes, Informationen über die Lokale einzuholen. Trotzdem kann es nützlich sein, sich zunächst mit der einfachsten aller möglichen Situationen zu beschäftigen. Verstehen wir diese gut, können wir anschließend überprüfen, ob die dort gültige Logik auch in einem realistischeren Umfeld greift. Ohnehin lassen sich in einem formalen Modell nie sämtliche Eigenschaften einer bestimmten Situation erfassen. Selbst wenn dies theoretisch möglich wäre, hätte ein solches Modell den Nachteil, dass es sich kaum mehr auf andere ähnliche Situationen übertragen ließe. Ziel ist es daher, nur diejenigen Faktoren in das Modell aufzunehmen, die für den untersuchten Gegenstand relevant sind.

„Ein formales Modell erfasst nie sämtliche Eigenschaften einer Situation. Es stellt immer eine Vereinfachung dar.“

Dieses Vorgehen ist weitverbreitet. Wenn Ökonomen Märkte modellieren, gehen sie in einem ersten Schritt beispielsweise oft davon aus, dass alle Konsumenten und alle Produzenten sogenannte Preisnehmer sind; das heißt, dass sie den herrschenden Marktpreis akzeptieren und ihre Absatz- beziehungsweise Abnahmemenge diesem Preis anpassen. Diese Annahme ist jedoch selten vollständig erfüllt. Wenn das Modell zum Beispiel auf Industrien angewandt werden soll, in denen wenige Anbieter den Markt unter sich aufteilen, ist es unerlässlich, entsprechende Anpassungen vorzunehmen. Dennoch reicht das einfachere Modell in vielen Fällen aus, um zuverlässige Voraussagen in Bezug auf relevante Größen zu erhalten, etwa die produzierte Menge oder den resultierenden Preis.

„Ungünstig wäre es, wenn sich alle blind auf die Mehrheit verließen.“

Wie das formale Modell von Callander und Hörner zeigt, kann es bei der Entscheidungsfindung nützlich sein, das Verhalten anderer zu beobachten. Dies gilt nicht nur bei der Wahl zwischen zwei Restaurants, sondern auch in vielen anderen Situationen – allerdings nur unter gewissen Voraussetzungen. Nehmen wir zum Beispiel an, dass Sie sich beim Kauf eines Notebooks für ein neues Betriebssystem entscheiden müssen. Sollten Sie nicht bereit sein, sich intensiv mit den technischen Details auseinanderzusetzen, ist es durchaus sinnvoll, die Entscheidungen anderer Personen mit ähnlichen Bedürfnissen zu beobachten. Dies gilt jedoch nur, sofern sich mindestens einige von diesen gewissenhaft informiert haben. Ungünstig wäre es, wenn sich alle blind auf die Mehrheit verließen.

Derartige Intuitionen lassen sich mittels formaler Modelle präzisieren. Aufgrund der zahlreichen vereinfachenden Annahmen, die sie beinhalten, ist es jedoch notwendig, ihre theoretischen Voraussagen empirisch zu testen. Zum Beispiel könnten wir untersuchen, ob gut besuchte Restaurants in Städten mit vielen Touristen im Durchschnitt eher besser oder eher schlechter sind als weniger erfolgreiche Lokale. Meist lassen sich jedoch nicht alle Daten erfassen, die zur Berechnung einer Prognose erforderlich sind. Im genannten Beispiel etwa wäre es wichtig zu wissen, wie groß der Anteil der informierten Gäste ist oder auch wie weit die Restaurants von den Touristenattraktionen und beliebten Hotels entfernt sind. Aus diesem Grund ist es oft sinnvoll, die entsprechende Untersuchung ins Labor zu verlegen.

Tauglichkeitstest im Labor

Wenn eine ökonomische Theorie im Labor getestet wird, versuchen wir in der Regel, das formale Modell möglichst genau umzusetzen. Trotzdem ist damit noch nicht sichergestellt, dass die Voraussage der Theorie eintreten wird. Denn statt vollständig rationaler Agenten werden Menschen – zumeist Studierende – eingesetzt. Dass wir im Labor alle anderen Faktoren mit Ausnahme des Verhaltens der Testsubjekte kontrollieren können, hilft uns dabei, genauer zu identifizieren, weshalb eine Voraussage gescheitert ist. Diese Evidenz wiederum können wir dazu verwenden, die Verhaltensannahmen in den theoretischen Modellen näher an die Realität zu bringen.

Im Beispiel des Touristen, der sich für ein Restaurant entscheiden muss, lassen sich aus dem formalen Modell von Callander und Hörner konkrete Voraussagen ableiten. Gemeinsam mit Jacob Goeree von der Universität Zürich

haben wir diese im Labor getestet. Zur Erinnerung: Laut formaler Modellierung ist es am besten, der Minderheit zu folgen – zumindest unter der Bedingung, dass alle Teilnehmer ihre eigene Auszahlung maximieren wollen und rational handeln. Ziel unserer Studie war es zu überprüfen, ob die Testpersonen sich tatsächlich so verhalten, wie es das Modell prognostiziert. Zudem interessierte uns, ob unsere Testpersonen in der Lage sind, aus den Entscheidungen ihrer Vorgänger zu lernen, oder ob sie darin statt einer Struktur einfach nur Chaos erkennen. Sollten sie hierzu in der Lage sein, so wäre nach unserer Berechnung zu erwarten, dass die Testpersonen die korrekte Option in mehr als der Hälfte aller Fälle auswählen.

Unser Versuchsdesign sah wie folgt aus: Jeweils zwischen sieben und dreizehn Studenten mussten nacheinander zwischen zwei Optionen – A oder B – auswählen, von denen eine vorab zufällig als „korrekt“ festgelegt worden war. Entschied sich ein Teilnehmer für diese Option, erhielt er eine Auszahlung in Höhe von vier Dollar, wählte er hingegen die falsche, ging er leer aus. Pro Durchlauf wurde jeweils zehn bis zwanzig Prozent der Studenten die korrekte Option mitgeteilt. Alle anderen Probanden handelten allein auf Grundlage der vorangegangenen Entscheidungen und der Struktur, die sie in diesen zu erkennen glaubten. Dabei stand ihnen nur die Information zur Verfügung, wie oft jede Option zuvor ausgewählt worden war, nicht aber die genaue Reihenfolge, in der dies erfolgt war. Wählte zum

Beispiel der erste Teilnehmer A, während sich die folgenden zwei Probanden für B entschieden, wusste der vierte Teilnehmer lediglich, wie häufig beide Optionen zuvor ausgewählt worden waren.

Voraussage und Wirklichkeit

Im Gegensatz zur Voraussage der Theorie, nach der die Entscheidungsträger der Minderheit folgen sollten, schlossen sich unsere Testpersonen in rund siebenzig Prozent der Fälle der Mehrheit an. Alle Probanden nahmen an jeweils zehn Experimenten teil, um ihnen die Möglichkeit zu geben, Erfahrungen mit dem abstrakten Umfeld zu sammeln. Dennoch ließen sich keine klaren Anpassungsprozesse erkennen. Dafür gibt es einen guten Grund: Denn es ist nur dann optimal, der Minderheit zu folgen, wenn auch alle anderen dies tun. In unserem Experiment hingegen erhielten die Probanden eine um rund 35 Cent höhere Auszahlung, wenn sie der Mehrheit folgten. Es gab für sie also keine Veranlassung, das eigene Verhalten anzupassen. Was aber steckt hinter dem Unterschied zwischen der theoretischen Voraussage und den experimentellen Ergebnissen? Während sich die Agenten im formalen Modell darauf verlassen können, dass alle anderen Entscheidungsträger absolut rational handeln, gibt es bei unseren Testpersonen keine derart klaren Voraussagen. Für sie ist es ungleich schwieriger, aus den beobachteten Entscheidungen der Vorgänger zu lernen. Denn ohne das Wissen, aus welchen Gründen sich die anderen verhalten, wie sie es tun, lässt

„Die Struktur der Entscheidungen anderer zu beobachten, kann wertvolle Erkenntnisse bringen.“

sich kaum auf die korrekte Option rückschließen. Manchmal unterschied sich der Nutzen, den die Testpersonen in den Experimenten von beiden Alternativen erwarteten, daher nur minimal.

Unsere Untersuchungen zeigen: Bereits kleine Rechenfehler oder verschiedene Herangehensweisen der Testpersonen an das vorliegende Problem können zu unterschiedlichen Resultaten führen. Die theoretische Voraussage in unserem Beispiel ist jedoch stark davon abhängig, dass keine derartigen Fehler vorkommen. Folglich bricht sie zusammen, sobald statt rationaler Agenten Testpersonen agieren. So hätten sich laut Voraussage 72 Prozent unserer Probanden für die „richtige“ Option entscheiden müssen, tatsächlich taten dies allerdings nur 62 Prozent. Rechnen wir aus diesem Wert die jeweils rund zehn bis zwanzig Prozent der Testpersonen heraus, die die korrekte Wahl kannten, erhalten wir ein Ergebnis, das in etwa einer reinen Zufallsverteilung entspricht.

Modelle müssen Fehler einkalkulieren

Diesem Befund können wir Rechnung tragen, indem wir bereits im Modell berücksichtigen, dass sich die Agenten zwar häufiger, aber eben nicht immer für die bessere Option entscheiden. Beispielsweise können wir annehmen, dass die Wahrscheinlichkeit, mit der sie eine Option auswählen, proportional zu der erwarteten Auszahlung ist. Damit kalkulieren wir ein, dass die Agenten Fehler machen, und zwar vor allem solche, die nicht allzu teuer sind. Darüber hinaus können wir davon ausgehen, dass sich alle Agenten der möglichen Fehler anderer Entscheidungsträger bewusst sind. Bereits intuitiv ist klar, dass ein solches Modell andere Voraussagen machen wird als eines, in dem alle Agenten vollkommen rational handeln.

Nehmen wir wiederum das Beispiel, in dem zehn Personen Option A gewählt haben und nur eine Person die Option B.

Wenn keine Fehler vorkommen, ist es sehr wahrscheinlich, dass der Einzelgänger gut informiert ist. Gehen wir hingegen davon aus, dass die Fehlerquote relativ hoch ist, müssen wir damit rechnen, dass es sich genau um einen solchen Fehler handelt. In diesem Fall ist es nicht mehr optimal, der Minderheit zu folgen.

Diese Methode, Fehler in formale Modelle einzubauen, ist als Quantal Response Equilibrium bekannt. Sie ermöglicht es uns zu überprüfen, wie robust die theoretischen Voraussagen eines Modells in Bezug auf derartige Fehler sind. In der Regel beinhalten Modelle, die auf dieser Methode basieren, mindestens einen freien Parameter. Er spiegelt wider, wie sensitiv die Agenten auf Unterschiede in der erwarteten Auszahlung reagieren. Die Hoffnung besteht nun darin, dass das erweiterte Modell bessere Prognosen erlaubt – im Idealfall nicht nur für die beschriebene Situation. Denn grundsätzlich lässt sich ein Modell mit derartigen Fehlertermen auf alle möglichen Situationen anwenden. Man könnte damit zum Beispiel voraussagen, wie sich Bieter in einer Auktion verhalten werden. Allerdings eignen sich die für eine bestimmte Situation geschätzten Parameter nicht immer dafür, Prognosen in völlig anderen Situationen zu berechnen. Mindestens in ähnlichen Situationen aber können mit dem erweiterten Modell oft bessere Voraussagen erreicht werden.

Potential und Grenzen von Prognosen

Um uns die Qual der Wahl zu erleichtern – egal, ob es um die Entscheidung zwischen zwei Restaurants oder das optimale Gebot bei einer Auktion geht –, sind verlässliche Prognosen, die Aufschluss über das Verhalten anderer geben, ausgesprochen hilfreich. In vielen Situationen beschreiben Modelle, in denen alle Agenten vollkommen rational handeln, das beobachtete Verhalten allerdings nur schlecht. Wenn Sie sich also aufgrund der bereits anwesenden Anzahl von Gästen für oder gegen ein bestimmtes



PROF. DR. CHRISTOPH BRUNNER ist seit rund vier Jahren Juniorprofessor für Mikroökonomie am Alfred-Weber-Institut der Universität Heidelberg. Er studierte Wirtschaftswissenschaften am Pariser Institut d'Études Politiques sowie an der Universität St. Gallen in der Schweiz. 2009 wurde er am California Institute of Technology in Pasadena promoviert. Seine Forschungsinteressen liegen im Bereich der Verhaltens- und Experimentalökonomie sowie der Spieltheorie.

Kontakt: cbrunner@uni-hd.de

**„Menschen handeln
anders als rationale Agenten.
Sie machen Fehler.“**

MODELS, PREDICTIONS AND THE HUMAN FACTOR

THE AGONY OF CHOICE

CHRISTOPH BRUNNER

Economists create models – to forecast price developments or the relation between supply and demand, but also to make predictions about our decision-making behaviour. Their aim is to formulate precise forecasts that will increase our planning reliability and help us choose between several different options. This is particularly difficult whenever people must be factored into the equation. Human behaviour does not follow any foreseeable pattern. Hardly anyone acts in a perfectly rational and goal-oriented manner. Imagine the following situation: You are a tourist in a foreign city. You are hungry and there are two restaurants next to your hotel. Since you do not speak the local language, you will have to decide where to eat based on the number of guests already present in each restaurant. As there are many tourists around, most of the people in the street know just as little as you about the restaurants and cannot offer advice. The theoretical modelling of this situation shows that – provided all agents act completely rationally – it is better to follow the minority, not the majority as one might assume. The reason is that if you observe a lonely guest in one of the two restaurants, it probably means that he is one of the few locals who know which restaurant is better.

However, in testing the model in the laboratory with students as decision makers we discovered that our subjects only followed the minority roughly thirty per cent of the time. Apparently they were not willing to rely on others being fully rational (and many indeed clearly are not). As a result, it was difficult for them to interpret the observed choices their predecessors had made. Hence, the number of correct choices in the experiment was lower than predicted. The discovery that people act differently from completely rational agents represents both a great opportunity and a considerable challenge for economists: It shows us how important it is to consider human behaviour to a greater extent in our theoretical models – for instance by allowing for the fact that agents make mistakes. If we succeed, we will be able to greatly improve the accuracy of our predictions. ●

PROF. DR. CHRISTOPH BRUNNER joined the teaching staff of Heidelberg University's Alfred Weber Institute for Economics four years ago as Junior Professor of Microeconomics. He studied economics at the Paris Institut d'Études Politiques and at the University of St. Gallen, Switzerland, before transferring to the California Institute of Technology in Pasadena, where he earned his PhD in 2009. His research focuses on behavioural and experimental economics and game theory.

Contact: cbrunner@uni-hd.de

“People act differently from rational agents. They make mistakes. This is something we have to consider to a greater extent in our models in order to formulate reliable predictions.”

Restaurant entscheiden, macht es durchaus Sinn, das volle Lokal zu wählen – entgegen dem Resultat der formalen Modellierung. Denn Menschen handeln anders als rationale Agenten. In diesem Befund steckt eine große Chance, aber auch eine große Herausforderung für uns Ökonomen: Er zeigt, wie wichtig es ist, den Faktor Mensch stärker in unsere theoretischen Modelle einzubauen – beispielsweise, indem wir einbeziehen, dass Agenten Fehler machen. Gelingt uns dies, sind wesentlich genauere Prognosen möglich. ●

AWI-Experimentallabor: Forschung zum Entscheidungsverhalten

Seit rund drei Jahren verfügt das Heidelberger Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften (AWI) über ein eigenes Experimentallabor, das primär für Verhaltensexperimente genutzt wird. Oft interagieren die Testpersonen in den Experimenten ausschließlich über die im Labor installierten Computer. Teilweise werden neben den Entscheidungen der Teilnehmer auch biologische Daten wie zum Beispiel Alter, Geschlecht oder auch der Hormonspiegel erfasst. Bei den Experimenten kann es sich um einfache Entscheidungen oder auch um komplexe Situationen wie zum Beispiel Auktionen oder Märkte handeln.

www.uni-heidelberg.de/fakultaeten/wiso/awi/forschung/awiexplab.html

**DIE
ORDNUNG**

**DER
WELT**

DIE ORDNUNG DER WELT

DER STEINIGE WEG ZU MEHR DEMOKRATIE

SEBASTIAN HARNISCH & MAX-OTTO BAUMANN

Die Welt kommt nicht zur Ruhe. Derzeit erschüttern Massenproteste, Aufstände und Revolutionen die autokratischen Systeme Nordafrikas. Es zeigt sich, dass sich die Demokratie längst nicht überall auf der Welt durchgesetzt hat. Auch dort, wo autokratische Herrschaftssysteme bereits überwunden wurden, erweist sich der Übergang zu demokratischen Strukturen oft als schwierig. Trotz alledem sprechen die jüngsten Forschungsarbeiten Heidelberger Wissenschaftler dafür, dass eine liberal-demokratisch geprägte Weltordnung möglich ist – und zwar ohne dass es dazu der radikalen Umwälzung andersartiger politischer Systeme bedarf.

D

Der US-amerikanische Politikwissenschaftler Francis Fukuyama postulierte Anfang der 1990er-Jahre das „Ende der Geschichte“. Auslöser für seine These war der Zusammenbruch der Sowjetunion, in dessen Folge laut Fukuyama eine neue Weltordnung anbrechen würde, die auf Demokratie und Menschenrechten gründen sollte. Heute aber nähren die Berichte aus Staaten wie Syrien, Ägypten oder Libyen den Eindruck, dass die Hoffnung auf Freiheit und Demokratie mancherorts in einem Strudel von Gewalt und Chaos unterzugehen droht. Auch global betrachtet ist die Demokratie bislang nicht zum Selbstläufer geworden: Von den Staaten der Welt sind derzeit nur 61 Prozent Wahldemokratien – eine Zahl, die seit Mitte der 1990er-Jahre stagniert. Einer der Gründe hierfür ist, dass viele autokratische Regime, etwa die Volksrepublik China, einerseits gut in die herrschende liberale Weltordnung integriert sind, andererseits eine weitergehende Demokratisierung bremsen.

Die Vorstellung eines globalen Friedens zwischen Republiken beziehungsweise Demokratien, die auf den Philosophen Immanuel Kant zurückgeht, erscheint heute daher weniger aussichtsreich als 1989. Die Versuche, nichtwestliche Länder aktiv in die liberal-demokratische Wertordnung hineinzusozialisieren, haben neben vielen Erfolgen auch die engen Grenzen insbesondere militärischer Zwangsgewalt deutlich gemacht. Das Beispiel der US-geführten Intervention im Irak zeigt deutlich, wie nahe demokratischer Ordnungsanspruch und reales Chaospotential beieinanderliegen können. Unsere Forschung jedoch zeigt, dass eine Weltordnung, die stärker auf demokratischen Werten basiert, auch ohne den umfassenden Umbruch autokratischer Herrschaftssysteme möglich ist. Ein eindrücklicher Beleg hierfür findet sich im Bereich der Menschenrechte: So konnte in den letzten beiden Dekaden eine globale Routine bei der Durchsetzung der humanitären Interventionsnorm hergestellt werden, obwohl diese ursprünglich höchst umstritten war. Dies gelang weniger durch völkerrechtliche Innovationen, die von den Entwicklungsländern weiterhin blockiert werden, sondern durch die Herausbildung einer fallorientierten Nord-Süd-Kooperationskultur, die sich zuletzt in der Libyen-Krise als tragfähig erwiesen hat.



PROF. DR. SEBASTIAN HARNISCH ist seit 2007 Professor für Politische Wissenschaft mit Schwerpunkt Internationale Beziehungen an der Universität Heidelberg. Zuvor forschte und lehrte er an der Universität Trier sowie der Bundeswehruniversität in München und war als Gastwissenschaftler in Seoul, Tokyo, Peking, New York und Almaty tätig. Derzeit arbeitet er an einem Band zur „Rolle der Volksrepublik China in den internationalen Beziehungen“. Die Forschungsschwerpunkte des Politologen liegen im Bereich der deutschen und amerikanischen Außenpolitik, der Theorien der internationalen Beziehungen, der koreanischen Halbinsel und der Nichtverbreitung von Massenvernichtungswaffen.

Kontakt: sebastian.harnisch@ipw.uni-heidelberg.de

Tatsächlich stellt die Libyen-Intervention etwas historisch Neues dar, das bislang nicht ausreichend gewürdigt wurde: Westliche Staaten und Entwicklungsländer haben hier gemeinsam und arbeitsteilig eine humanitäre Intervention durchgeführt, in der die Länder des Südens sich für gewaltsame Maßnahmen gegen eine Regierung aussprachen, die ihr eigenes Volk bekämpfte. Diese bewusste Beugung staatlicher Souveränität im Namen der Menschenrechte war unter den bislang vorherrschenden antiwestlichen Ressentiments undenkbar – vor allem in der arabischen Welt.

Eine demokratischere Weltpolitik und autokratische Herrschaftsformen schließen sich also nicht grundsätzlich aus. Vielmehr scheint es einen dünnen gemeinsamen demokratischen Firnis zu geben, der kollektives Handeln im Bereich der Menschenrechte – teilweise sogar darüber hinaus – zu tragen vermag. Wir fragten danach, wie eine solche Kooperationskultur entsteht und welche Schlüsse sich aus ihr für demokratische Friedens- und Sicherheitspolitik ziehen lassen.

Zwei Konstellationen: Konflikt und Kooperation

Der Ausgangspunkt unserer Argumentation sind die sozialen Rollen, die westliche Staaten und Entwicklungsländer in konkreten Interventionsfällen einnehmen. Die Besonderheit des Ansatzes liegt darin, dass er nicht auf ein normatives Defizit der Entwicklungsländer fokussiert, als gelte es, diese von einer autokratischen auf eine demokratische Gesinnung umzupolen. Vielmehr betrachten wir die Entwicklungsländer und westlichen Staaten als prinzipiell gleichwertige Rollenträger innerhalb eines Sozialverbandes. Der Erfolg oder Misserfolg einer Normentwicklung dieses Verbandes erklärt sich daher maßgeblich auch aus dem Verhalten der westlichen Staaten.

In den Falluntersuchungen, an deren Beispiel wir die Evolution der humanitären Interventionsnorm analysierten, fanden wir grob zwei wiederkehrende Situationstypen: zum einen den diplomatischen Konflikt im Sicherheitsrat der Vereinten Nationen (und darüber hinaus), der die Entwicklung einer Interventionsnorm blockierte; zum anderen kooperatives Verhalten zwischen den einzelnen Akteuren, das die Entwicklung eben dieser Norm förderte. Welcher Situationstyp eintrat, hing vorrangig von der Rolle ab, die die westlichen Staaten als die stärkeren Akteure einnahmen.

Ausgeprägte Konfliktsituationen traten auf bei der humanitären Intervention im Irak 1991/92 zum Schutz der Kurden und Schiiten, im Zusammenhang mit der Kosovo-Intervention der NATO 1999 sowie in den ersten beiden Jahren der Darfur-Krise (2004–2008). In allen drei Konflikten lässt sich die teils massive Kritik der Entwicklungsländer in Bezug zu der jeweiligen Rolle setzen, die die westlichen Staaten einnahmen: Zu Beginn der 1990er-

THE STONY PATH TO MORE DEMOCRACY

WORLD ORDER AND CHAOS

SEBASTIAN HARNISCH & MAX-OTTO BAUMANN

Mass riots, uprisings and revolutions – the latest upheavals in North Africa are shaking the region’s autocratic regimes to the core. And they prove that democracy is far from being the standard model of government around the world. On the contrary: In many places, the hope of freedom and self-determination threatens to be shattered in a spiral of violence and chaos. From a global viewpoint, democracy is no hot seller: only 61 percent of the world’s countries are currently electoral democracies.

However, our research suggests that a liberal democratic world order is possible even in the absence of extensive democratisation and shared values. In the course of “humanitarian interventions”, we have succeeded in establishing a system of cooperation between first- and third-world countries that permits the community of states to take collective action in the name of human rights. To understand this, we must regard the states as members of a social association who cooperate on the basis of social roles instead of common values. A balanced relationship that allows for the inclusion and participation of developing countries permits the members to jointly fulfil the association’s tasks. Liberal-democratic standards are implemented indirectly – as a stabiliser for an already working cooperation.

A more in-depth democratisation of autocratic regimes, especially if it is brought about by military means, is tied to specific requirements, such as democratic experiences in the country itself and a democratic environment. This makes such a forced transformation unviable for most of today’s autocratic states, among them China and Syria. The best strategy for Western foreign and security policy – whether relating to democratic transformations or international standards – is therefore a policy of self-restraint that builds on the principle of the others’ voluntary self-determination. ●

PROF. DR. SEBASTIAN

HARNISCH is Professor of Political Science with a focus on international relations at Heidelberg University. Before transferring to Heidelberg in 2007, he taught at Trier University and at the University of the Federal Armed Forces in Munich. He has completed research stays in Seoul, Tokyo, Beijing, New York and Almaty and is currently working on a volume on the role of the PRC in international relations. His research focuses on German and US foreign policy, the theories of international relations, the Korean peninsula and the non-proliferation of weapons of mass destruction.

Contact: sebastian.harnisch@ipw.uni-heidelberg.de

DR. DES. MAX-OTTO BAUMANN

studied political science, physics and philosophy at Heidelberg University from 2003 to 2008 and holds a PhD in International Relations. In 2013 he was awarded the Ruprecht Karls Prize for his doctoral thesis on humanitarian intervention and social structural change in international politics. Dr. Baumann's research interests are pragmatism and the social constructivist theory on standards and socialisation as it applies to international relations. His focal regions are Africa, China and the Arab world.

Contact: max.bm@gmx.de

“A more democratic world order is possible even without a radical transformation of autocratic governments.”

Jahre erklärten die USA eine neue Weltordnung, deren demokratische und humanitäre Ideale notfalls auch mit Gewalt durchzusetzen seien – faktisch häufig gegen die Entwicklungsländer. In der Kosovo-Krise nahm die NATO die Rolle eines Weltpolizisten ein, die viele Entwicklungsländer in eine Oppositionsrolle drängte. Interessanterweise richtete sich der Protest selbst von Namibia, einem demokratischen Land Afrikas, nicht gegen die Intervention an sich (diese wurde wegen der humanitären Verbrechen Milosevics als legitim anerkannt), sondern gegen die fehlenden Partizipationschancen an der Entscheidung und die Unverhältnismäßigkeit der Mittel. In der Darfur-Krise stilisierten sich die USA zu einem selbstherrlichen Anwalt und Exekutor der Menschenrechte und des UN-Sicherheitsrates, der durch das Veto anderer Mächte von seinen eigentlichen Aufgaben abgehalten worden sei.

Hierarchisierung der internationalen Politik

All diesen Konfliktsituationen gemein ist, dass die jeweilige Rolleneinnahme westlicher Staaten, insbesondere der USA, eine Hierarchisierung der internationalen Politik mit sich brachte. Erwartungsgemäß wurde diese Unterbeziehungsweise Überordnung von den statusbewussten Entwicklungsländern – aber nicht nur von diesen – mit Opposition beantwortet.

In Fällen erfolgreicher Kooperation schlüpfen die westlichen Staaten hingegen in die Rolle eines „Primus inter pares“, der die Entwicklungsländer zur Kooperation und Mitverantwortung einlud: In der Somalia-Intervention 1992/93 präsentierten die USA sich als „Katalysator“ für die internationale Kooperation; im Bosnien-Konflikt intervenierte die NATO 1995 unter einem gemeinsamen Kommando mit den Vereinten Nationen; und in der Darfur-Krise suchten die USA ab 2006 eine Lösung durch die Vereinten Nationen, was China und die arabischen Staaten nachweislich zu einer konstruktiveren Haltung veranlasste.

Wir fanden mithin, dass in allen kooperativen Interventionen, in denen der Westen und die Entwicklungsländer sich auf Augenhöhe begegneten, das Instrumentarium des UN-Sicherheitsrats und damit die humanitäre Interventionsnorm signifikant ausgeweitet wurden. Die Entwicklungsländer konnten in diesen Fällen davon ausgehen, dass sich die neue normative Ordnung für humanitäre Interventionen als eine regelgeleitete Ordnung innerhalb der Vereinten Nationen entfalten würde.

Ordnung und Wandel durch Kooperation

Am Beispiel der humanitären Interventionsnorm wird, so unser Argument, eine neue Form der Evolution einer demokratischeren Weltordnung sichtbar. Bisherige politikwissenschaftliche Ansätze gingen davon aus, dass demokratisch-liberale Normen zuerst in den Institutionen der beteiligten Gesellschaften und in den Köpfen der Politiker

„Die Rolle der NATO als Weltpolizist drängt viele Entwicklungsländer in eine Oppositionsrolle.“

verankert werden müssten, damit demokratische Politik möglich wird. Die Implementierung einer solchen, auf geteilten Werten fundierenden Weltordnung kann jedoch, wie gezeigt, Abwehrreaktionen und evolutionäre Rückschritte hervorrufen. Für westliche Beobachter war die Kosovo-Intervention der Inbegriff von Ordnung, weil im Namen universaler Prinzipien, also rein humanitärer Normen, interveniert wurde; für viele Entwicklungsländer war sie jedoch der Inbegriff von Unordnung und Ungleichheit, weil die Entscheidung zur Intervention ohne ihre aktive Beteiligung erfolgte und so die souveräne Gleichheit der Staaten beschädigt wurde.

Eine demokratischere Ordnung hingegen, in der die Akteure komplementäre Rollen einnehmen, beschädigt diese Gleichheit nicht. Sie ruht zunächst nicht auf einem geteilten Wertfundament, sondern auf der Selbstbestimmung und dem Interessenausgleich zwischen Rolleninhabern eines Sozialverbandes. Demokratische Normen werden in diesem Modell erst einmal indirekt verwirklicht, insofern sie erforderlich sind, um konkrete Probleme des Verbandes zu lösen. Sie sind also der Emergenzeffekt einer Kooperation, die auf kompatiblen Motiven, nicht auf gemeinsamen Werten basiert. Sozialtheoretisch helfen Rollen, diesen Zusammenhang zu verstehen: Denn ein Staat kann eine für die Funktion des Verbandes wichtige Rolle – etwa „Exekutor von Menschenrechtsnormen“ – temporär übernehmen, ohne damit gleichzeitig eine grundsätzliche Umverteilung von Status und damit auch eine als problematisch wahrgenommene Hierarchisierung der Weltpolitik zu bewirken. Ordnung wird hier somit als „erwartbares Verhalten“ und weniger als „Norminternalisierung“ gedacht. Chaos – konzipiert als Zerfall des Sozialverbandes in Misstrauen und Rivalität – wird verhindert, indem die Selbstbeschränkung der Mächtigen innerhalb des Verbandes die begrenzte Selbstbestimmung der Ohnmächtigen ermöglicht.

Reduktion des Konfliktpotentials

Dass kooperative Rollen eine ordnungsbildende Wirkung haben, hat verschiedene Gründe. Wenn Staaten ihre Zusammenarbeit über Rollen koordinieren statt über Werte und Interessen, so reduziert dies das Konfliktpotential erheblich. Rollen (und die damit verbundenen Gegenrollen) setzen lediglich voraus, dass die Eigen- und Fremderwartungen im Hinblick auf die Übernahme der Gruppenaufgaben zu einem Mindestmaß kompatibel sind. Rangieren Inklusion und multilaterale Arbeitsteilung vor der Normdurchsetzung, entsteht die Möglichkeit zum Widerspruch, beispielsweise zur Zurückweisung einer Rolle. Dadurch und weil die Rolle eine temporäre und freiwillige Übernahme sozialer Funktionen bedeutet, erlaubt sie es auch, gewisse normative Risiken einzugehen (wie Souveränitätsverletzungen in Extremfällen). Zudem führt die temporäre Rollenübernahme durch Kooperation zu ähnlichen Erfahrungen und praktisch-normativem Lernen; jeder Staat,

„Ohne aktive Beteiligung aller Akteure wird die souveräne Gleichheit der Staaten beschädigt.“

der an einer Intervention beteiligt ist, muss deren Folgen mitverantworten und erhält durch die Rollenübernahme ein Interesse daran, dass die Intervention durch internationale Legitimation abgesichert wird.

„Sind Interventionen zur Etablierung demokratischer Verhältnisse legitim?“

Aus dieser sozialtheoretischen Perspektive, die auf den amerikanischen Pragmatismus des Soziologen George H. Mead zurückgeht, sichert also weniger der Konsens der Herrschaftsunterworfenen die Norm und ihre Implementierung, als vielmehr die geübte und gelingende Kooperation der Herrschaftsbeteiligten selbst. Normen können so als soziale Phänomene verstanden werden, die in der Praxis bewährte Standards angemessenen Verhaltens festlegen. Internationale Organisationen, allen voran die Vereinten Nationen, ermöglichen als Foren der Kooperation die Konstitution eines Sozialverbandes und damit das Denken in (temporären) Rollen.

Der Perspektivenwechsel von der Wertannahme zur Rolleneinnahme erklärt auch den (begrenzten) Erfolg der 2001 vorgestellten Norm der Schutzverantwortung. Im Unterschied zum Konzept der humanitären Intervention, das allein auf die Rechtfertigung militärischer Maßnahmen abzielt, formuliert diese Norm zunächst die Pflicht des Einzelstaates, die Sicherheit seiner Bürger zu gewährleisten. Erfüllt ein Staat diese Pflicht nicht, geht die Schutzverantwortung auf die Staatengemeinschaft über, wobei ihre Ausübung an einen Beschluss des UN-Sicherheitsrats gebunden bleibt. Zwar konstituiert die Schutzverantwortung völkerrechtlich betrachtet bis heute keinen Fortschritt, da die Entwicklungsländer einem expliziten Interventionsrecht widersprechen, dennoch hat sie in den letzten Jahren weltweit starke Resonanz gefunden. Einer der Gründe hierfür könnte sein, dass ihr Konzept zu Prävention und Wiederaufbau verpflichtet. Folglich bezieht sie die Entwicklungsländer als Subjekte bei der konkreten Normausgestaltung mit ein, statt sie nur als Objekte externer Interventionen zu betrachten.

Demokratisierung mit militärischer Gewalt

Die humanitäre Intervention ist eine Ad-hoc-Notmaßnahme mit der begrenzten Zielsetzung, Menschenleben zu retten. Als Nothilfe kann sie anhand universaler moralischer Prinzipien gerechtfertigt werden. Kants Theorem eines globalen Friedens sowie unter anderem die Konflikte in Afghanistan, Libyen und Syrien werfen jedoch die weitergehende Frage auf, ob auch Interventionen zur Etablierung demokratischer Verhältnisse – zum Beispiel ein militärisch

Neues Promotionskolleg zur Erforschung autokratischer und demokratischer Regime

Mit dem Promotionskolleg „Politikperformanz autokratischer und demokratischer Regime“ hat die Universität Heidelberg Anfang 2013 ein weiteres strukturiertes Promotionsprogramm eingerichtet. Ziel des Kollegs ist es, Demokratien und autoritär geführte Staaten in ihrer Art und Weise, Politik zu betreiben, miteinander zu vergleichen. Die Doktoranden des Kollegs gehen der Frage nach, inwiefern demokratische und autokratische Staaten in ihren Governance-Modi und dadurch in ihren Leistungsprofilen divergieren beziehungsweise konvergieren. Sie analysieren, welcher Zusammenhang zwischen der Politikperformanz und den politischen Legitimationspraktiken besteht.

Das Graduiertenkolleg erhält über einen Zeitraum von drei Jahren Fördermittel in Höhe von rund 240.000 Euro aus der Landesgraduiertenförderung des Landes Baden-Württemberg, um bis zu sechs Promotionsstipendien zu finanzieren. Es ist am Institut für Politische Wissenschaft der Universität Heidelberg angesiedelt, Sprecher des Kollegs ist Prof. Dr. Sebastian Harnisch.

www.uni-heidelberg.de/politikwissenschaften/institut/promkolleg.html

gestützter Regimewechsel – legitim und erfolgversprechend sein können. Jüngste Untersuchungen aller von außen initiierten Regimetransformationen im 20. Jahrhundert zeigen deutlich, dass derartige Demokratisierungen mit militärischer Gewalt nur dann Aussicht auf Erfolg haben, wenn drei Bedingungen erfüllt sind: Die entsprechende Gesellschaft muss Demokratieerfahrung haben, sie darf wirtschaftlich nicht unterentwickelt und sie darf ethnisch nicht fragmentiert sein. Für eine größere Zahl bestehender Autokratien, darunter die Volksrepublik China und Syrien, gelten diese Bedingungen offensichtlich nicht. Statistisch bessere Chancen auf Erfolg haben hingegen gewaltsame Interventionen in Staaten, deren demokratische Entwicklung durch „autokratische Rückfälle“ lediglich unterbrochen wurde. Ob diese Effekte allerdings in allen Weltregionen gleichermaßen gelten – zumal dort, wo viele Nachbarstaaten nicht demokratisch sind –, ist ungewiss. Unsere Analysen zur Evolution der humanitären Interventionsnorm deuten eher in die gegenteilige Richtung. Eine militärische Intervention gegen den erklärten Willen der Nachbarstaaten erzeugt sehr wahrscheinlich aktive Gegenrollenbildung, die für die Entwicklung eines jungen demokratischen Gemeinwesens nachteilig ist.

In diesem Zusammenhang sind Deutschland und Japan immer wieder als historische Beispiele für absehbar und

langfristig erfolgreiche, aber in Bezug auf Mensch und Material äußerst kostspielige Interventionen herangezogen worden. Solche Interventionen und die ihnen zugrunde liegenden zwischenstaatlichen Großkonflikte sind heutzutage aber wenig wahrscheinlich. Wahrscheinlicher sind, auch aufgrund der waffentechnischen Überlegenheit westlicher Demokratien, Interventionen wie jene in Afghanistan (2001) und im Irak (2003). Militärisch betrachtet waren die Risiken hier überschaubar; politisch betrachtet wurde jedoch weder ausreichend erwogen, ob die Bedingungen für eine erfolgreiche demokratische Transformation erfüllt waren, noch welche Folgen die militärische Intervention für die betroffenen Gesellschaften hatte. Zurück blieben häufig fragile Gemeinwesen, deren Eliten und Bürger nur unzureichend Selbstbestimmung und Selbstverantwortung übernehmen konnten und wollten. Auch auf dem Balkan und in Afrika findet sich eine wachsende Anzahl von Post-Konflikt-Gesellschaften, in denen Selbstbestimmung und Selbstverantwortung allzu häufig und allzu lang mit (eigeninteressierten) „willigen internationalen Helfern“ geteilt wird.

Selbstbeschränkung als Grundprinzip

Aus unserer Sicht mahnen diese Erfahrungen mit militärischen Interventionen jenseits humanitärer Ziele daher zu einer Selbstbeschränkung westlicher Außen- und Sicherheitspolitik. Konkret bedeutet Selbstbeschränkung, dass Sicherheit und Frieden längerfristig und unter Einbeziehung der legitimen Eigeninteressen anderer Gesellschaften gedacht werden müssen. Selbstbeschränkung erfordert die Kontrolle von Impulsen der Selbstüberschätzung, gegen die auch Demokratien nicht gefeit sind. Ferner ist die Selbstbeschränkung demokratischer Außen- und Sicherheitspolitik auch deshalb die überzeugendste Strategie, weil sie das Recht des anderen auf Selbstbestimmung als Grundprinzip demokratischer Politik zum Leitfaden ihres auswärtigen Handelns macht. Es ist ein großer, wenn nicht gar entscheidender Unterschied, ob Menschenrechte von außen erzwungen werden oder ob eine Gesellschaft sie aus sich selbst heraus erstreitet. Selbstbeschränkung führt daher vor allem dann zur Selbstbestimmung, wenn bedingungsfreie Kooperation zwischen Gesellschaften den Vorrang genießt vor unbedingter Wertgeltung. ●



DR. DES. MAX-OTTO BAUMANN hat von 2003 bis 2008 an der Universität Heidelberg Politikwissenschaft, Physik und Philosophie studiert und im Anschluss daran im Fachbereich Internationale Beziehungen promoviert. Seine Dissertation zum Thema „Humanitäre Interventionen und sozialstruktureller Wandel in der internationalen Politik“ wurde 2013 mit dem Ruprecht-Karls-Preis ausgezeichnet. Im Zentrum seines Forschungsinteresses stehen der Pragmatismus und die sozialkonstruktivistische Normen- und Sozialisierungstheorie der Internationalen Beziehungen. Regionale Schwerpunkte sind Afrika, China und die Arabische Welt.

Kontakt: max.bm@gmx.de

