

AUSGABE 15  
DEZEMBER 2019

RUPERTO CAROLA  
FORSCHUNGSMAGAZIN



UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG  
ZUKUNFT  
SEIT 1386

**KULTUR**

**NATUR**

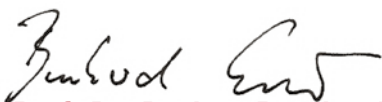


# LIEBE LESERINNEN UND LESER DER RUPERTO CAROLA,

Natur und Kultur beziehungsweise Natur und Mensch sind keine Gegensätze. Sie gehören aus Sicht der Geowissenschaften zum System Erde. Die Diskussion um das „Anthropozän“ als neue erdgeschichtliche Epoche ist Ausdruck dafür. Dennoch sind wir geprägt von der Perspektive des Judentums, des Christentums und des Islam, die den Menschen hervorheben und ihm eine besondere Rolle oder Bedeutung zuschreiben. Daraus entsteht ein Dualismus, der zuweilen auch in Gegensätzliches umschlägt: Natur und Kultur – Gegensätze oder nur zwei Ansichten derselben Medaille?

Sind der Mensch und sein Wirken Teil des Systems, ist seine „Kulturleistung“ naturdeterminiert? Dieser Auffassung auf Grundlage des Darwinismus, die zum Beispiel durch den Geographen und Ökonomen Ellsworth Huntington vor dem Ersten Weltkrieg vertreten wurde, hat man im 20. Jahrhundert im Kontext des Bedeutungsgewinns der Sozialwissenschaften die These entgegengestellt, der Mensch und damit auch Kulturentwicklung seien rein vom menschlichen Willen, von seiner unabhängigen geistig-sozialen Leistungsfähigkeit und seinem Gestaltungswillen bestimmt. Erst in den vergangenen Jahrzehnten hat sich ausgehend von interdisziplinären Projekten und einem fachübergreifenden Diskurs der Gedanke weiter etabliert, dass Mensch und Natur zwar eine Einheit bilden, etwas, das vielen Naturreligionen nicht fremd ist, innerhalb dieser Einheit der Mensch aber als soziokulturelles Wesen im Rahmen der natürlichen Möglichkeiten durchaus Gestaltungsspielraum, besonders in der Wahl seiner Mittel, hat. Dieses neodeterministische Weltbild scheint sich derzeit immer mehr durchzusetzen.

Immer deutlicher wird, dass angesichts der Komplexität des Systems Erde, und bewusst einschließlich des Menschen verstanden, ein monodisziplinärer Forschungsansatz allenfalls Detailwissen und Einzelprobleme zu lösen hilft. Komplexe Herausforderungen erfordern multidisziplinäre Zusammenarbeit, zumindest um die Ergebnisse von Fachdisziplinen einzuordnen und richtig bewerten zu können. Die Wirklichkeit ist komplex, das zeigt auch das vorliegende Heft KULTUR & NATUR. Die 15. Ausgabe der RUPERTO CAROLA stellt sich dieser Herausforderung, ohne den Anspruch zu erheben, auf alle Fragen dazu eine Antwort zu präsentieren. Aber zum eigenen Nachdenken anzuregen, unterschiedliche Perspektiven einzunehmen und damit populären simplen Antworten verschiedenster Interessengruppen entgegenzutreten, diesem Ziel kann man mit den Beiträgen aus Lebens-, Geistes-, Wirtschafts-, Sozial- und Rechtswissenschaften näherkommen. Dazu ist Offenheit gefordert, also auch die Fähigkeit, nicht unreflektiert hochselektierten und vorgefertigten Meinungsbausteinen zu folgen – diese Offenheit im (Über-)Denken ist ganz im Sinne unseres Universitätswahlpruchs „Semper Apertus“. Ich wünsche Ihnen in diesem Sinne eine anregende und erkenntnisreiche Lektüre.



Prof. Dr. Dr. h.c. Bernhard Eitel  
Rektor der Universität Heidelberg





KAPITEL

EXPERTEN IM GESPRÄCH  
**DIE KURVE KRIEGEN**  
NATUR UND/VERSUS KULTUR  
IM GESPRÄCH MIT EVA WINKLER & KURT ROTH

**6**

WISSENSCHAFTSTHEORIE  
**GEGEN DIE AUFTEILUNG DER WELT**  
LÖSUNGEN FÜR DIE WELT VON MORGEN  
THOMAS MEIER

**16**

GEOLOGIE  
**DER MENSCH ALS GEOLOGISCHE KRAFT**  
DAS ZEITALTER DES ANTHROPOZÄNS  
OLAF BUBENZER, HANS GEBHARDT & FRANK KEPPLER

**24**

WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN  
**KIPPPUNKT**  
VON KOORDINATION UND KOOPERATION  
FLORIAN DIEKERT

**34**

KAPITEL

PALÄOUMWELTDYNAMIK  
**OFFENBARUNGEN VOM GRUND DES MEERES**  
DIE BÜCHER DER ERDGESCHICHTE  
JÖRG PROSS & OLIVER FRIEDRICH

**44**

NACHHALTIGKEITSFORSCHUNG  
**ZUSAMMEN WIRKEN**  
DIE GROSSE TRANSFORMATION  
NICOLE AESCHBACH & KATHRIN FOSHAG

**52**

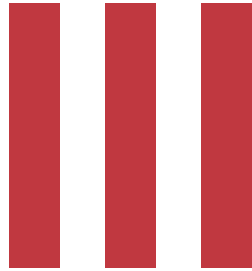
SINOLOGIE  
**DICKE LUFT**  
CHINA IM UMWELTSTRESS  
ANJA D. SENZ

**62**

TRANSKULTURELLE STUDIEN  
**NACH DER KATASTROPHE**  
WARUM KULTURERBE DOKUMENTIERT WERDEN MUSS  
CHRISTIANE BROSIUS

**70**

KAPITEL



MOLEKULARBIOLOGIE  
WERKZEUG GENSCHERE  
PRÄZISE SCHNITTE INS ERBGUT  
MICHAEL BOUTROS

80

NEUROMORPHES RECHNEN  
VORBILD NATUR  
WIE MASCHINEN DAS LERNEN LERNEN  
JOHANNES SCHEMME

88

MATHEMATISCHE PHYSIK  
ANNÄHERUNG  
DUALITÄTEN IN MATHEMATIK UND PHYSIK  
JOHANNES WALCHER

96

BIOPHYSIK  
AUS DEM BAUKASTEN DER MOLEKULAREN INGENIEURE  
AUF DEM WEG ZUR SYNTHETISCHEN ZELLE  
KERSTIN GÖPFRICH, ILIA PLATZMAN & JOACHIM P. SPATZ

106

IMPRESSUM

113

KAPITEL



KLASSISCHE ARCHÄOLOGIE  
SCHUTZLOS AUSGELIEFERT  
KULTUR UND NATUR IN POMPEJI  
POLLY LOHMANN

116

RECHTSPHILOSOPHIE  
RECHT, GERECHTIGKEIT UND MORAL  
DIE DEBATTE UM NATURRECHT UND RECHTSPOSITIVISMUS  
MARTIN BOROWSKI

124

ARCHÄOMETRIE  
INFORMATIONEN AUS DER BRONZEZEIT  
DIE KRIMINALTECHNIK DER ARCHÄOLOGIE  
ERNST PERNICKA

132

MEDIÄVISTIK  
DIE WILDNIS IN UND ZWISCHEN UNS  
INZEST IN DER LITERATUR DES MITTELALTERS  
SARINA TSCHACHTLI

140



EXPERTEN IM GESPRÄCH  
**DIE KURVE KRIEGEN**  
NATUR UND/VERSUS KULTUR  
IM GESPRÄCH MIT EVA WINKLER & KURT ROTH

**6**



WISSENSCHAFTSTHEORIE  
**GEGEN DIE AUFTEILUNG DER WELT**  
LÖSUNGEN FÜR DIE WELT VON MORGEN  
THOMAS MEIER

**16**



GEOLOGIE  
**DER MENSCH ALS GEOLOGISCHE KRAFT**  
DAS ZEITALTER DES ANTHROPOZÄNS  
OLAF BUBENZER, HANS GEBHARDT & FRANK KEPPLER

**24**



WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN  
**KIPPPUNKT**  
VON KOORDINATION UND KOOPERATION  
FLORIAN DIEKERT

**34**

# KAPITEL



**DIE**

**KURVE**

**KRIEGEN**



DIE KURVE KRIEGEN

# NATUR UND/ VERSUS KULTUR

IM GESPRÄCH MIT EVA WINKLER & KURT ROTH

Die Medizinethikerin Eva Winkler und der Umweltphysiker Kurt Roth sprechen über das Verhältnis von Natur und Kultur, über kreative Gestaltungsprozesse und die Instrumentalisierung von Natur und über die Frage, ob der Mensch – als Kulturleistung – in der Gestaltung von Prozessen gefährlichen Entwicklungen entgegenwirken kann.

# W

Was verstehen Sie als Wissenschaftler unter dem Begriffspaar „Kultur & Natur“?

**Prof. Winkler:** Als Kultur sehe ich das vom Menschen Gemachte und Entwickelte an, das häufig eine lange Tradition und Geschichte hat, sowie Gesellschaften, die sich zu bestimmten kulturellen Produkten hin verhalten. Das kann die Gesellschaftsform selbst sein, das können aber auch Kunst, Musik und Literatur sein – und alles, was an sozialer Umgebung geschaffen wird: wie wir die Orte, an denen wir leben, die Städte und Landschaften, bewahren und gestalten. Als Natur würde ich im Gegensatz dazu alles Biologische beschreiben, was sich vom Menschen weitgehend ungestaltet entwickelt hat. Kultur würde ich also immer als eine schöpferische Mitleistung denken, als einen kreativen Gestaltungsprozess, der sich nicht aus sich heraus einfach entwickelt.

**Prof. Roth:** Ich würde bei diesen Definitionen weitgehend mitgehen, sehe die Details aber etwas anders. Ich möchte lieber zuerst die Natur definieren: Das ist nach meiner Ansicht unsere gesamte physische Umwelt, von der auch ich

# „Meine Vorstellung einer Kulturleistung ist es, dass wir in der Gestaltung von Prozessen einer gefährlichen Entwicklung entgegenwirken können.“



Eva Winkler

als Mensch ein Teil bin. In diesem Sinne existiert Natur auf einer primären Ebene objektiv. Kultur ist im Gegensatz dazu etwas Sekundäres, das nicht an sich existiert, sondern in Abhängigkeit von etwas anderem. Das Wichtige bei Kultur ist, dass sie Relationen schafft zwischen Entitäten, die in der physischen Welt sind, also in der Natur. Diese Definition erlaubt es mir dann, Kultur nicht nur als etwas vom Menschen Geschaffenes zu sehen, sondern auch als etwas, das beispielsweise ebenso bei Ameisen vorhanden ist.

**Inwiefern haben Ameisen eine Kultur entwickelt – ist ein Ameisenstaat denn nicht eher etwas, das durch Naturgesetzmäßigkeiten entstanden ist?**

**Prof. Roth:** Nehmen wir die Blattschneiderameisen: Sie betreiben eine Art „Landwirtschaft“, die der unseren sehr ähnlich ist – sie legen unterirdische Gärten an und nutzen Biozide, also Substanzen, mit denen sie Parasiten in diesen Gärten bekämpfen. Wenn wir völlig richtig sagen, dass Kultur kreativ ist und dadurch neue Dinge entstehen, dann haben Ameisen mit dieser Landwirtschaft eine Kultur geschaffen. Für uns Menschen war der Schritt zur Landwirtschaft, der über Kulturpflanzen ging, ein kreativer Schritt, der unser Leben dramatisch verändert hat. Wir haben diesen Schritt vor etwa 10.000 Jahren gemacht – die Ameisen sind ihn vor zehn Millionen Jahren gegangen! Steht Kultur also in Kontrast zur Natur? Nein, nicht wirklich: Natur als physisch objektive Existenz entwickelt sich durch die Evolution weiter, es öffnen sich neue Räume – und nach meiner Ansicht ist Kultur das, was diese neuen Räume erkundet

und erschließt. Und wenn sie einmal geformt sind, dann ist das wieder Natur geworden.

Frau Winkler, in der Medizin gibt es die Definition von Kultur beziehungsweise Kultivierung als künstliche Anzucht von beispielsweise Viren, deren Verhalten unter kontrollierten Bedingungen beobachtet wird. Wo endet Natur und wo beginnt Kultur?

**Prof. Winkler:** Das ist ein bisschen wie der Vorgang, wenn man den Wolf zähmt und daraus dann der Hund entsteht. Wir kultivieren die Natur und machen sie uns für unsere Zwecke nützlich, beispielsweise bei Kulturpflanzen – im Garten entscheiden wir, was Unkraut ist und was nicht, also was unseren Zwecken entspricht und was nicht. Damit instrumentalisieren wir die Natur. Das gilt auch für die Bakterien und Viren, die wir in Kulturen halten, um daran Experimente zu machen: Wir haben sehr zielgerichtete Wege, um sie so weit zu bringen, dass sie uns Fragestellungen beantworten. Ist das Kultur? Wahrscheinlich ja, weil das Material aus der Natur genommen und vom Menschen weiter gestaltet wird.

Das EURAT-Projekt zu ethischen und rechtlichen Aspekten der Totalsequenzierung des menschlichen Genoms, dessen Sprecherin Sie sind, beschäftigt sich mit den Grenzen von Kultur. Wie viel Gestaltung braucht ein Prozess, bei dem der Mensch so grundsätzlich in die Natur eingreift?

**Prof. Winkler:** Es geht hier um Selbstregulation bei einem Thema, das mit technologischen Sprüngen in exponentieller Geschwindigkeit verbunden ist. Da stellt sich immer die Frage nach den Rahmenbedingungen, innerhalb derer wir das Neue zum Nutzen aller einsetzen, und nach den Gefahren, die damit verbunden sind, so dass uns der Gebrauch auch überfordern kann. Durch die Genomsequenzierung erhalten wir auch genetische Informationen, auf die wir nicht reagieren können, weil es dafür noch keine Behandlungsoptionen gibt. Wie muss man das einbetten, damit es einen Korridor beschreibt, in dem Forschung möglich ist und man Erkenntnisse gewinnen kann, während wir aber gleichzeitig nicht außen vor lassen, was es an Sorgen und Ängsten und auch Missbrauchsmöglichkeiten mit sich bringt? Ziel unserer EURAT-Plattform ist es, diesen Rahmen mitzudenken, während die Forschung voranschreitet. Das Spannende dabei ist auch, dass das Projekt viele verschiedene Wissenschaftskulturen und Expertisen zusammenbringt. Da treffen auch unterschiedliche Wissenschaftssprachen aufeinander, so dass es erst einmal eine Weile dauert, sich auf Begriffe zu einigen und zu wissen, was der andere meint mit dem, was er sagt.

Kann man denn vor diesem Hintergrund sagen, dass Natur- und Kulturwissenschaften ebenso Gegensätze sind wie Natur und Kultur?

**Prof. Roth:** Natur und Kultur sehe ich, wie bereits dargelegt, überhaupt nicht als Gegensatz, sondern als organische Einheit: Kultur ist das Erkunden des Ungeformten, in das die Natur voranschreitet. Das kann schöpfend sein oder

„Ich sehe Natur und Kultur nicht als Gegensatz, sondern als organische Einheit: Kultur ist das Erkunden des Ungeformten, in das die Natur voranschreitet.“



Kurt Roth

es kann auch automatisch sein. Natur- und Kulturwissenschaften sind für mich auch keine notwendigen Gegensätze – im Moment sehe ich aber operationelle oder genauer: methodische Unterschiede.

**Prof. Winkler:** Als Medizinerin und gleichzeitig Medizinethikerin arbeite ich gewissermaßen an der Schnittstelle

### Ethische und rechtliche Fragen: Das EURAT-Projekt

Die Nutzung neuer Sequenzierverfahren des menschlichen Genoms in Forschung und klinischer Praxis zur Verbesserung von Diagnosen und Therapieempfehlungen wirft zentrale ethische und rechtliche Fragen auf: Für Forscher entstehen neue Formen der Verantwortung im Umgang mit ihrem Wissen über Patienten und deren Familien. Das am Marsilius-Kolleg der Universität Heidelberg angesiedelte EURAT-Projekt (Ethische und Rechtliche Aspekte der Totalsequenzierung des menschlichen Genoms) hat Lösungen entwickelt, um die Balance zwischen Patientenwohl, Anspruch des Patienten auf Information und Mitsprache sowie Forschungsfreiheit und klinischem Fortschritt bestmöglich zu wahren.

Die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Humangenetik, Onkologie, Pathologie, Pädiatrie, Molekularbiologie, Bioinformatik, Ethik, Recht und Gesundheitsökonomie haben im Jahr 2013 „Eckpunkte für eine Heidelberger Praxis der Ganzgenomsequenzierung“ veröffentlicht, die inzwischen maßgeblich zu einer kritischen Auseinandersetzung mit dem Thema in den Medien wie auch der akademischen Gemeinschaft beigetragen haben. 2015 erschien eine aktualisierte Auflage, die neue Entwicklungen berücksichtigt und Möglichkeiten der Selbstregulierung von Forschungsinstitutionen aufzeigt. Zu den erarbeiteten Lösungen gehören Muster-texte zur Patienteninformation und -einwilligung sowie ein Kodex für Forscher. Dieser Kodex wurde vom Senat der Universität Heidelberg und vom Vorstand des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ) beschlossen und gilt damit für Forscher, die in Heidelberg im Bereich der Genomsequenzierung arbeiten.

Der EURAT-Projektgruppe gehören Forscherinnen und Forscher der Universität Heidelberg und des Universitätsklinikums Heidelberg, des DKFZ, des European Molecular Biology Laboratory (EMBL), des Max-Planck-Instituts für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht sowie der Universität Hannover an. Projektsprecherin ist die Heidelberger Medizinerin und Medizinethikerin Prof. Dr. Dr. Eva Winkler.

[www.uni-heidelberg.de/totalsequenzierung](http://www.uni-heidelberg.de/totalsequenzierung)

von Natur- und Kulturwissenschaften und finde es immer wieder interessant, dass ein solcher Gegensatz gesehen wird. Aus den Naturwissenschaften kenne ich durchaus gewisse Vorurteile: Wenn ich ein Ethikprojekt vorstelle, habe ich immer das Gefühl, dass es begründungsbedürftig ist – dass wir darlegen müssen, dass wir nicht einfach eine Art Meinungsumfrage machen, sondern dass auch in diesem Bereich die Forschung valide und kohärent sein muss, dass es logische Schlussfolgerungen und Evidenz geben muss. Natürlich unterscheiden sich die Methoden von Natur-, Lebens-, Geistes- und Sozialwissenschaften, und wahrscheinlich gibt es in den Geisteswissenschaften eine größere Sensibilität dafür, dass eine Begriffsdefinition schon der erste wissenschaftliche Schritt ist – schon allein der Begriff „Genomeditierung“ ist ja nicht einfach nur eine deskriptive Beschreibung, sondern beinahe schon eine Metapher. Aber in der Wissenschaftlichkeit müssen Natur- und Kulturwissenschaften denselben Kriterien genügen: Die Ergebnisse müssen reproduzierbar – also nachvollziehbar –, begründungsfähig und kohärent sein zu dem, was vorher schon gefunden wurde.

Ein Thema, das Natur und Kultur gleichermaßen betrifft, ist der menschengemachte Klimawandel, bei dem beispielsweise die Permafrostböden in der Arktis viel schneller auftauen als gedacht. Kann man daher sagen, dass Kultur in letzter Konsequenz auch das Ende von Natur bedeuten kann?

**Prof. Roth:** Natürlich – und an einem solchen Punkt waren wir schon einmal: bei der Bedrohung durch einen möglichen Atomkrieg in den 1970er- und 1980er-Jahren. Ich glaube nicht, dass ein globaler Atomkrieg das Ende der Natur an sich bedeutet hätte, das Ende der menschlichen Komponente aber wahrscheinlich schon. In Bezug auf den Wandel unserer Umwelt scheinen wir auch auf eine solche Situation zuzusteuern. Einige glauben, dass wir die nötigen Entwicklungen zum Gegensteuern schnell genug vorbringen werden, dass wir die Kurve noch kriegen, während andere sagen, das sei schwieriger als gedacht – wer recht hat, wird sich erst retrospektiv zeigen.

**Prof. Winkler:** Das ist ein spannender Vergleich. Wenn man den Klimawandel als Kulturprodukt sieht, als ein Nebenprodukt unseres kollektiven Verhaltens, dann ist es natürlich eine enorm komplexe Aufgabe, dieses kollektive Verhalten zu ändern. Im Vergleich mit den Marschflugkörpern war es damals vielleicht einfacher, wen man adressieren musste, um einen Atomkrieg zu verhindern – beim Klimawandel müssen viel mehr Menschen auf der Entscheidungsebene zusammenkommen, um eine Katastrophe zu verhindern.

**Prof. Roth:** Und wenn man den Klimawandel als „Kulturprodukt“ sieht, würde ich auch sagen, dass Kultur nicht in dem Sinne zu verstehen ist, dass Menschen entscheiden, in welche Richtung eine Entwicklung geht. Der Mensch glaubt nur, dass



**PROF. DR. MED. DR. PHIL. EVA WINKLER** ist Oberärztin am Nationalen Centrum für Tumorerkrankungen Heidelberg, an dem sie den Forschungsschwerpunkt „Ethik und Patientenorientierung in der Onkologie“ leitet, sowie Professorin für Translationale Medizinethik an der Medizinischen Fakultät Heidelberg der Universität Heidelberg. Seit 2013 ist sie Projektsprecherin des EURAT-Projekts, das vom Marsilius-Kolleg der Universität Heidelberg seinen Ausgang nahm und sich mit ethischen und rechtlichen Aspekten der Totalsequenzierung des menschlichen Genoms beschäftigt. Nach ihrem Studium der Humanmedizin an der Universität Heidelberg und der FU Berlin wurde sie im Jahr 2000 am Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg im Bereich Onkologische Diagnostik und Therapie promoviert, 2010 folgte an der Universität Basel ihre Promotion im Bereich Medizin- und Gesundheitsethik. 2012 habilitierte sich Eva Winkler an der LMU München, im selben Jahr erfolgte die Umhabilitation an die Universität Heidelberg. Seit 2019 ist sie auf die Heisenberg-Professur für Translationale Medizinethik berufen. Von 2002 bis 2004 forschte sie an der Harvard University in Cambridge und Boston (USA) in den Bereichen Medizinische sowie Politische Ethik.

Kontakt: [eva.winkler@med.uni-heidelberg.de](mailto:eva.winkler@med.uni-heidelberg.de)

# DEAR READERS OF RUPERTO CAROLA,

Nature and culture – or nature and humankind – are not opposites. From the standpoint of the geosciences, they both belong to “System Earth”, a view that is reflected by the current discussion about the “Anthropocene” as a new geological era. But many of us are also shaped by the teachings of Judaism, Christianity and Islam, which emphasise the significance of humans and the special role they play in the scheme of things. This gives rise to a dualism that occasionally shifts into opposing stances: nature and culture – a contradiction in terms or just two sides of the same coin?

Are we humans and our actions part of the system, are our “cultural achievements” dictated by nature? This Darwinist concept was espoused, for instance, by the geographer and economist Ellsworth Huntington before the First World War. With the rising influence of the social sciences in the 20th century, it was countered by the theory that human beings, and therefore cultural development, are governed solely by human will, by humankind’s independent mental-social abilities and its creative drive. Then, a few decades ago, another idea became established that can be traced back to interdisciplinary projects and cross-disciplinary discourse. This idea holds that while humans and nature are two halves of a whole – a concept that is quite familiar to many nature religions – humans as sociocultural beings do have some creative leeway within the scope of the natural possibilities, especially in their choice of means. This neo-deterministic world view seems to gain an increasing following today.

More and more, it is becoming clear that, in view of the complexity of “System Earth” – which includes humans as an integral part –, a monodisciplinary research approach can at best provide a narrow breadth of knowledge that may help solve isolated problems. Complex challenges, on the other hand, require multidisciplinary cooperation, if only because such cooperation allow us to classify and correctly evaluate the findings of the various subject disciplines. Reality is nothing if not complex – a fact that is reflected in our latest journal entitled CULTURE & NATURE. The 15th edition of RUPERTO CAROLA accepts this challenge without claiming to have an answer to every question. But encouraging readers to think about certain issues, to look at them from different angles and perhaps find counter-arguments to the popular, simple answers put forward by various interest groups – that is a realistic objective for our authors, who approach this task from the perspective of the life and social sciences, humanities, economics and the law. This process requires an open mind, including the ability to not blindly adopt pre-selected and pre-fabricated ideas; such openness of thought and reflection is embodied by our University’s motto “Semper Apertus”. With this in mind, I wish you an inspiring and rewarding reading experience.

Prof. Dr Dr h.c. Bernhard Eitel  
Rector of Heidelberg University



# „Wir können nicht entscheiden, in welche Richtung sich menschliche Kulturen entwickeln.“

Kurt Roth

er plant und steuert – tatsächlich können wir nach meiner Einschätzung zwar zu einem gewissen Grad entscheiden, welche Schritte wir technologisch als Nächstes einschlagen wollen, aber wir können nicht vorhersehen, in welche Richtung sich menschliche Kulturen auf einem Zeithorizont von – vorsichtig gesagt – 50 Jahren entwickeln werden.

**Prof. Winkler:** Da bin ich auch vorsichtig – aber ich hätte schon die Hoffnung, dass man da, wo man schädliche Auswirkungen erkannt hat, mit der Gestaltung der Prozesse einer gefährlichen Entwicklung entgegenwirken kann. Ich war gerade in einer Diskussionsveranstaltung der EU-Kommission mit einer Expertenrunde, bei der es um den Einsatz von Künstlicher Intelligenz ging und um Eckpfeiler, die Entwickler bedenken müssen. Auch hier ist das Ziel, den Rahmen festzulegen, um beim Einsatz von Künstlicher Intelligenz eine verantwortungsvolle Verwendung abzusichern. Ich hoffe also schon, dass der Mensch einen Rahmen setzen kann, mit dessen Hilfe er etwas steuern kann, anstatt einfach bereits gefallenen Entscheidungen ausgeliefert zu sein. Das wäre meine Vorstellung einer Kulturleistung.

**Folgeabschätzungen musste man schon immer vornehmen – besteht die heutige Herausforderung nicht vor allem in der rasanten Geschwindigkeit, in der sich Entwicklungen vollziehen, so dass sie sich zu verselbstständigenden drohen?**

**Prof. Roth:** Ja, und das Problem ist, dass wir als Menschen eine inhärente Geschwindigkeit haben, mit der wir beispielsweise etwas Neues lernen. Diese können wir nicht wesentlich ändern, während sich die Prozesse außen aber beschleunigen. Nach meiner Wahrnehmung sind wir an einem Punkt, an dem diese externen Zeiten kürzer werden als unsere internen Zeiten, so dass wir einen grundlegenden Systemübergang haben werden. Daher ist für

mich beim Thema Künstliche Intelligenz auch nicht die Frage, wie wir sie steuern können, sondern vielmehr, wann wir einen Übergang haben werden, an dem unsere Kultur, wie wir sie heute haben, in eine neue, sich selbst erkennende Ebene übergeht – ob mit oder ohne unsere gegenwärtige Form Künstlicher Intelligenz, spielt dabei keine Rolle.

**Was ist denn dann letztlich stärker – Natur oder Kultur?**

**Prof. Roth:** Ganz klar: Die Natur ist viel stärker. Einen strukturell ähnlichen Übergang wie der, an dem wir meiner Meinung nach gerade sind, gab es schon einmal, so dass wir ihn studieren können: Das war vor etwa 2,4 Milliarden Jahren, nachdem Bakterien die noch heute dominante Form der Photosynthese entwickelt hatten, bei der Sauerstoff als Abfallprodukt entsteht. Das hat das ganze System Erde vollständig umgekrempelt und sämtliche globalen Stoffströme verändert. Sauerstoff war für seine Produzenten allerdings giftig, und keine dieser Bakterien haben in ihrer ursprünglichen Form überlebt. In der Welt, die sie geschaffen hatten, konnten sie selbst nicht mehr leben: Sie wurden als Mitochondrien in die dabei neu entstehenden eukaryotischen Zellen integriert. Der damalige Übergang erstreckte sich über etwa 400 Millionen Jahre – unser aktueller verläuft etwa eine Million Mal schneller!

Ich will mit diesem Beispiel illustrieren, dass wir uns nicht zwingend selbst ausrotten werden. Es kann durchaus auch passieren, dass wir uns in einer Transformation an sich verändernde Bedingungen anpassen werden – so wie die Mitochondrien, deren Bedürfnisse abgedeckt sind und die nun das machen, was sie gut können. Wir können uns heute nicht vorstellen, was der Mensch vielleicht später einmal als angenehm empfinden wird – einen Menschen aus einem früheren Zeitalter hätte man auch nicht dazu gebracht, in ein Auto oder ein Flugzeug zu steigen. Heute gibt es bereits Menschen,



**PROF. DR. KURT ROTH** hat seit 1998 eine Professur für Experimentelle Physik am Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg inne. Nach einem Studium der Physik und Mathematik wurde er an der ETH Zürich (Schweiz) promoviert, an der er sich 1992 auch habilitierte. Nach einem Forschungsaufenthalt an der University of California in Riverside (USA) hatte er von 1992 bis 1998 zunächst eine Professur für Bodenphysik an der Universität Hohenheim inne und war zugleich bis 1999 als Privatdozent für Boden- und Grundwasserhydrologie an der ETH Zürich tätig. Kurt Roths Forschungsschwerpunkte sind Transportprozesse in Böden, die er sowohl experimentell als auch in Simulationen und in der Theorie untersucht. Darüber hinaus beschäftigt er sich mit der Dynamik von Permafrostböden, der Kopplung von Boden und Atmosphäre sowie der Entwicklung geophysikalischer Methoden für Bodenradar. Über die vergangenen sechs Jahre verlagerte sich sein Forschungsschwerpunkt zunehmend zu Chaos, Komplexität und Evolution bis hin zu kultureller Evolution.

Kontakt: [kurt.roth@iup.uni-heidelberg.de](mailto:kurt.roth@iup.uni-heidelberg.de)

ADJUSTING COURSE

# NATURE AND/VERSUS CULTURE

INTERVIEW WITH EVA WINKLER &amp; KURT ROTH

What is the relationship between nature and culture – do the two complement or oppose each other? Where does nature end and culture begin? And could culture ultimately mean the end of nature? These are some of the questions debated by Eva Winkler, a medical ethicist who works at the intersection of natural sciences and cultural studies, and environmental physicist Kurt Roth, who as a natural scientist investigates not only such topics as the dynamics of permafrost soils, but also aspects of cultural evolution.

Kurt Roth sees nature and culture not as opposites, but as an organic whole: “Culture is the exploration of the unformed into which nature makes its way.” The important thing, according to him, is that culture creates relations between entities in the physical world – which is why culture should never be seen as something of purely human origin: he cites the gardens created by leafcutter ants as an example of a culture without human intervention. At the same time, he is convinced that nature is stronger than culture. While it is true, he says, that in the Anthropocene era humans are in the driver’s seat – whether or not they want to be – culture should not be taken to mean that we can determine the direction in which human cultures will develop.

Eva Winkler, on the other hand, defines nature as everything biological that evolved largely free from human influence, and culture as a “creative design process that does not simply develop on its own”. With regard to current scientific topics, such as the use of genome sequencing or artificial intelligence, she believes it is a “cultural achievement that we can design processes to counteract dangerous developments”. She maintains that culture always entails certain expectations and requirements. For this reason, the medical ethicist is heartened by the youth protests against climate change: “The young generation that is taking to the streets feels a great deal of responsibility for the future and displays a level of reflection that I did not have at that age.” ●

PROF. DR MED. DR PHIL. EVA WINKLER is a chief resident at the National Center for Tumor Diseases Heidelberg, where she heads the research group "Ethics and Patient Oriented Care in Oncology", and a professor of translational medical ethics at Heidelberg University's Medical Faculty Heidelberg. In 2013 she became speaker of the EURAT project, which originated at the Marsilius Kolleg of Heidelberg University and investigates ethical and legal aspects of total human genome sequencing. Prof. Winkler studied medicine at Heidelberg University and FU Berlin and in 2000 earned her doctorate in oncological diagnostics and therapy at the German Cancer Research Center in Heidelberg; in 2010 she obtained a second doctoral degree in medical and health ethics from the University of Basel. In 2012 Eva Winkler completed her habilitation at LMU Munich and had her teaching credentials formally recognised by Heidelberg University later that same year. In 2019 she accepted the Heisenberg Chair of Translational Medical Ethics. From 2000 to 2004 she worked as a researcher in the fields of medical and political ethics at Harvard University in Cambridge and Boston (USA).

Contact: [eva.winkler@med.uni-heidelberg.de](mailto:eva.winkler@med.uni-heidelberg.de)

**“My idea of a cultural achievement is the fact that we can design processes to counteract dangerous developments.”**

Eva Winkler

**“In the Anthropocene era, humans are in the driver’s seat – whether or not we want to be, whether or not we know where we’re going.”**

Kurt Roth

PROF. DR KURT ROTH has held the Chair of Experimental Physics at Heidelberg University's Institute of Environmental Physics since 1998. After graduating university with a degree in physics and mathematics, he earned his doctorate at ETH Zurich (Switzerland), where he also completed his habilitation in 1992. Following a research stay at the University of California in Riverside (USA), he was a professor of soil physics at the University of Hohenheim from 1992 to 1998 and also held the position of associate professor of soil and ground-water hydrology at ETH Zurich until 1999. Kurt Roth's research focuses on transport processes in soils, which he investigates experimentally as well as in theory and using simulations. Other topics of interest are the dynamics of permafrost soils, the interaction between soil and atmosphere and the development of geophysical methods for ground-penetrating radar. In the course of the past six years, his research focus has increasingly shifted to chaos, complexity and evolution, specifically cultural evolution.

Contact: [kurt.roth@iup.uni-heidelberg.de](mailto:kurt.roth@iup.uni-heidelberg.de)

die mit Virtual-Reality-Brillen in eine andere Welt abtauchen und sich damit wohl fühlen – in eine solche Richtung könnten wir uns vielleicht entwickeln.

**Prof. Winkler:** Vielleicht ist aber der Stärkebegriff eine Kategorie, die hier gar nicht greift. Wenn das, was übrig bleibt, wenn der Mensch verschwindet, die Natur ist, dann hat die Kultur sich gewissermaßen selbst eliminiert – darunter wird aber auch die Natur leiden und sich verändern. Wir können Kultur nun mal schwer ohne den Menschen denken, und mit Kultur denken wir auch immer einen Anspruch mit. Wenn man Natur und Kultur als Gegensatz denkt, dann wahrscheinlich nicht deskriptiv, sondern in diesem normativen Sinn, weil wir sagen: Natur hat normativ keinen Anspruch an sich selbst. Wenn Bakterien sich selbst ausrotten, weil sie Sauerstoff produzieren, dann würden wir das nicht werten, so wie wir es tun, wenn wir sagen, der Mensch hat sich aufgrund seines Konsumverhaltens ausgerottet, obwohl er ein Bewusstsein hat und den Prozess hätte gestalten können – aber er hat es nicht hinbekommen. Das wäre ein Versagen vor unserem Selbstanspruch.

Also müssen wir gegensteuern – oder können wir das gar nicht?

**Prof. Roth:** Im Zeitalter des Anthropozäns ist der Mensch am Steuer – ganz egal, ob er steuern will oder nicht, ganz egal, ob wir wissen, wohin wir steuern oder nicht. Seit Jahren nimmt der Gesamt-CO<sub>2</sub>-Ausstoß der neu zugelassenen Autos in Deutschland zu, ein immer größer werdender Teil davon sind SUVs – dabei brauchen wir nicht so viele Autos und schon gar nicht so viele SUVs. Warum tun wir das? Es ist ja nicht so, dass jeder Einzelne ein Idiot wäre, aber offenbar gehören wir als Gemeinschaft in die Klasse der Idioten – warum ist das so? Diese Prozesse müssen wir verstehen, um noch irgendwie handlungsfähig bleiben zu können. Denn die gegenwärtig dominanten und entscheidenden Prozesse sind diejenigen, die in der Gesellschaft ablaufen. Und in unserer Gesellschaft müssen wir nun vor allem über die Frage der Verantwortung dem Leben gegenüber diskutieren, beispielsweise in der Schule: Was ist Leben, wie entfaltet sich Leben und wie wollen wir weitermachen?

**Prof. Winkler:** Aber genau das findet doch bereits statt, wie ich an meinen beiden Kindern sehe. Genau diese Themen werden in der Schule stark diskutiert – es hat ja auch seinen Grund, dass diese junge Generation nun auf die Straße geht, aus Sorge um die Schöpfung und um ihre Zukunft. Diese Generation hat ein starkes Verantwortungsgefühl für die Zukunft und hat eine Reflexionsebene, die ich in diesem Alter nicht hatte. Und das erlebe ich nicht als Einzelphänomen nur bei meinen Kindern, sondern bei vielen. Und das macht Hoffnung! ●

Das Interview führten Marietta Fuhrmann-Koch & Mirjam Mohr

„Die junge Generation, die nun auf die Straße geht, hat ein starkes Verantwortungsgefühl für die Zukunft und eine Reflexionsebene, die ich in diesem Alter nicht hatte. Das macht Hoffnung!“

Eva Winkler

**GEGEN DIE**

**AUF**

**TEIL**

**LUNG**

**DER WELT**



GEGEN DIE AUFTEILUNG DER WELT

# LÖSUNGEN FÜR DIE WELT VON MORGEN

THOMAS MEIER

**Aus dem Dualismus Hermeneutik und Empirie hat sich in der Wissenschaft ein Kultur-Natur-Dualismus entwickelt, der nicht mehr geeignet scheint, um die drängenden Probleme von Gegenwart und Zukunft zu lösen. Ein neuer Ansatz tut not, der weitaus mutiger ist als Interdisziplinarität und der sich stattdessen betont gegen die disziplinäre Fraktionierung der Welt richtet! Ein Plädoyer für einen anti-disziplinären Ansatz, der die etablierten Fächergrenzen lautstark ignoriert.**

# M

Machen wir uns nichts vor! Wie die Wissenschaft die Welt unter sich in Fächern diszipliniert hat, hat sehr wenig mit der allgemeinen Natur der Dinge, aber dafür umso mehr mit historischen Zufällen in der Kultur des westlichen Menschen zu tun. Das wird nun zunehmend zum Problem ... Und die Not der drängenden Probleme, die wir mit unserer Umwelt anrichten, gebietet es, nach grundsätzlich anderen Wegen unserer Erkenntnis zu suchen.

Der jüdisch-christliche Schöpfungsmythos am Beginn des Buchs Genesis platziert den Menschen nicht in der Welt, sondern im Gegensatz zu ihr: Die passive Natur solle dem aktiven Menschen dienen und sei ihm untertan. Als das – so die Bibel weiter – einzige erkenntnisbegabte Wesen in Gottes Schöpfung steht dieser Mensch nicht nur theologisch über allen anderen Wesen und Dingen – auch ohne christliche Begründung schmeichelt dieser Gedanke dem modernen Menschen als Kind der Aufklärung: Im Gegensatz zur Natur verfüge eben nur er dank seines Geistes über Kultur als das spezifisch Menschliche. Der Mensch selbst ist hier ein hybrides Wesen, ausgestattet mit einer

Innenwelt, dem erkennenden Ich des Individuums, das es zu verstehen gilt, und mit einer körperlichen, materiellen Außenwelt, die sich beobachten und erklären lässt. So hatte es bereits um 1640 der französische Philosoph René Descartes eingeführt, und wir vergessen heute, dass Descartes' Gedanken keineswegs konkurrenzlos waren – aber sein Konzept war besser mit den biblisch fundierten Vorurteilen seiner Gesellschaft vereinbar als die Vorstellungen anderer Philosophen, und er verfügte über die langfristig gesehen machtvolleren Netzwerke. Und schließlich waren seine Gedanken auch simpel genug, um von jedermann verstanden zu werden.

Der Weg der Theologie, die Welt zu erkennen, war die Auslegung des Textes mit der Methode der Hermeneutik – der Kunst, durch immer neue Auslegungen und Interpretationen zum Bedeutungskern des Textes vorzudringen. Vor fast einem halben Jahrtausend hat sich davon die Empirie als eine zweite Form emanzipiert, wie die Welt gelesen werden könne: Auch das empirische Vermessen der Dinge nicht zuletzt im Rahmen von Versuchen erhebt den Anspruch zu erklären, wie die Dinge ihrem Wesen nach, also unveränderlich und in Wahrheit, seien.

## Dysfunktionale Modelle

Bei Descartes und in der Zeit nach ihm wurden beide Seiten des Menschen – jene, die durch Hermeneutik, und jene, die durch Empirie zugänglich ist – noch durch die Theologie notdürftig zusammengehalten, denn alle Wissenschaft diente letztlich der Erkenntnis des christlichen Gottes. Doch die beiden Seiten drifteten unaufhaltsam auseinander, und spätestens seit dem 19. Jahrhundert ist es mit dieser Einheit, die längst schon nur noch eine äußerliche war, dahin. In einem langen und noch immer nicht abgeschlossenen Prozess der Ausdifferenzierung hat sich aus dem empirischen Ansatz eine Vielzahl von Naturwissenschaften entwickelt, die sich immer weiter in Subdisziplinen verästeln. Die hermeneutische Methode ist hingegen – mit manchen Transformationen – bis heute die intellektuelle Grundlage aller Geistes- und Kulturwissenschaften geblieben, die schon in ihrem Namen betonen, dass es ihnen um den menschlichen Geist und vor allem um seine jeweilige kulturelle Gebundenheit zu tun ist.

Auch wenn der Kultur-Natur-Dualismus also in einer spezifischen historischen Situation entstand und weder argumentativ noch historisch zwingend war, ist zuzugeden, dass diese Form, sich die Welt geistig und materiell anzueignen, durchaus sehr erfolgreich war. Der Blick in die Gegenwart zeigt: Noch nie wurden die Menschen so alt, noch nie konnte die Erde so viele Menschen ernähren, noch nie zuvor gab es wenigstens die Idee Allgemeiner Menschenrechte – kurz: Noch nie ging es uns so gut wie heute. Zumindest im Globalen Norden! Andererseits: Noch nie müssen so viele Menschen ohne eine Existenz-

grundlage auskommen, noch nie sind so viele Menschen auf der Flucht, noch nie war der Planet so übernutzt, das Ökosystem in fast allen seinen Komponenten so aus den Fugen geraten und die Welt so ungerecht. Heute gilt das schon für den Globalen Süden und morgen insgesamt für alle, die nach uns kommen werden. Der Erfolg der westlichen Wissenschaft(sgeschichte) und ihrer Weltmodelle ist also nicht nur zweigleisig, sondern auch zweiseitig.

Immer mehr setzt sich der Eindruck durch, dass unsere Wissenschaften in ihrem jetzigen Zuschnitt immer weniger zu den Problemen passen, die vor uns liegen, dass diese Probleme gleichsam zwischen den Disziplinen „hindurchflutschen“ und dabei größer statt kleiner werden, weil wir sie nicht richtig zu fassen bekommen. Der Klimawandel, die zu erwartenden globalen katastrophalen Szenarien und auch, was getan werden müsste, um diese Szenarien doch noch zu verhindern oder wenigstens abzumildern – das alles ist vonseiten der Naturwissenschaften eigentlich seit Jahren klar und in den Berichten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), des Weltklimarats, nachzulesen. Nur stehen wir recht ratlos vor der Frage, wie wir die Menschen – und zwar die Gesellschaft und jede und jeden Einzelnen, nicht nur die Politikerinnen und Politiker – davon überzeugen können, in ihr eigenes Überleben einzuwilligen und vor allem auch etwas dafür zu tun.

# „Der Kultur-Natur-Dualismus entstand in einer spezifischen historischen Situation und war weder argumentativ noch historisch zwingend.“

Die Freude im einen Teil der Wissenschaft, die eigenen Hausaufgaben gemacht zu haben, während der andere nun liefern müsse, hilft wenig, denn der eine Teil ist ohne den anderen schlicht wertlos. Und vielleicht ist es sogar so, dass der bereits fertig ausformulierte technisch-naturwissenschaftliche Teil der Lösung nun gar nicht mehr Teil der Lösung, sondern vielmehr Teil des Problems ist: Denn leicht entsteht der Eindruck, die Menschen sollten nur mehr etwas abnicken, das in seiner Komplexität schwer zu verstehen und zu durchschauen und in seinem Entstehungsprozess für die allermeisten von uns unklar ist. Auch die historische Erfahrung, dass die allzu technische Betrachtung der Welt einen Gutteil zu den heutigen Problemen beigetragen hat, verstärkt nicht eben die Lust darauf, den Angeboten aus Technik und Naturwissenschaften erneut bedingungslos zu vertrauen. Hier rächt es sich, dass die Naturwissenschaften den Technik-Skeptizismus, der ebenfalls eine wichtige und lange Tradition der westlichen Kultur ist, bis heute nicht als Modus der kritischen (Selbst-)Reflexion verankert haben.

## Gegenseitiges Unverständnis

Doch was blockiert die Wissenschaft, ihre eigene Dysfunktionalität zu überwinden? Schon die ganz grundsätzlich unterschiedlichen Vorstellungen der beiden großen Fakultäten, wie die Welt erfasst werden könne – vermessend oder interpretierend –, liegen inzwischen um genau diese Welt auseinander: Aus kulturwissenschaftlicher Sicht beruht der Wahrheitsanspruch der Naturwissenschaften lediglich darauf, dass diese sich weigerten, die kulturellen Grundlagen ihrer Erkenntnis zu reflektieren; politisch gewendet sei der Anspruch, kulturunabhängiges und damit allgemeingültiges Wissen wie beispielsweise „Naturgesetze“ zu schaffen, nichts anderes als ein Vehikel eines fortgesetzten westlichen Kolonialismus. Andersherum, aus naturwissenschaftlicher Sicht, ist mit dem Wissen der Kulturwissenschaften nichts anzufangen, da es einer strengen Methode entbehre und daher weder im Labor noch sonst überhaupt reproduzierbar und damit eben auch nicht objektiv und verallgemeinerbar sei, mit einem Wort: Geschwätz, dem Roman näher als seriöser Wissenschaft.

Aber es geht nicht nur um solch abstrakte Theorie, die man elfenbeinturmenen Debatten zurechnen mag. Diese „bloße Theorie“ hat über die Jahrzehnte auch ganz praktische Auswirkungen in den beiden Wissenschaftssystemen entwickelt: Jeder, der schon einmal an einem Berufungsverfahren am anderen Ufer des großen Grabens teilgenommen hat, kennt die Verblüffung, wie grundsätzlich unterschiedlich und doch in beiden Fällen vollkommen regulär Verfahren ablaufen können, um die Bestqualifizierten herauszufiltern. Zitationsindices stehen ausgedehntem Schriftenstudium gegenüber, Intellektuellentum der Drittmittelsumme – die Annahme von der Vermessbarkeit der Welt versus individuellem Verstehen des Autors macht auch vor den Praktiken der

# „Vielleicht ist es viel einfacher, die Disziplinen zu vergessen?“

Disziplinen nicht halt. Und das hat Konsequenzen: Die Struktur der Darstellung und die Art zu schreiben (themenbezogene Originalität im Ich-Stil versus objektivistische Passivkonstruktionen in standardisierter Gliederung), das Genre (Fragmentierung des Wissens in knappe Aufsätze versus seine Ausbreitung in umfänglichen Monographien) und das Publikationsorgan (index- und impactgetrieben versus Ästhetik und Dauerhaftigkeit) sind, um nur einige zu nennen, keine Spielereien an der Oberfläche, sondern lang trainierte disziplinierte Verhaltensweisen, die in den Erkenntnismodellen der Fächer tief verankert sind und daher darüber entscheiden, was im jeweiligen disziplinären Kontext, in der Peergroup, als Wahrheit gilt und was mit Schweigen abgetötet wird.

Sicher, diese Darstellung ist zugespitzt, aber nach guten 15 Jahren der Versuche, zwischen den beiden „großen Fakultäten“ zu arbeiten, bin ich überzeugt, dass das gegenseitige Unverständnis am Ende auch genau so spitz ist. Nur vernebeln wir es, wenn wir immer noch vertreten, alle Wissenschaft sei Ausdruck derselben Rationalität – ohne dass diese Rationalität jemals genauer und vor allem mit breitem Konsens bestimmt worden wäre. Oder wir verdammen es zum Schweigen, wenn wir reklamieren, solche Faktoren dürften im wissenschaftlichen Reich der Rationalität keine Rolle

spielen, sondern es dürfe allein das beste Argument zählen. Sicher, „dürften“ und „dürfe“ – doch wird aus dieser normativen (und sehr fragwürdigen) Setzung kein Argument, dass die praktizierte Realität nicht ganz anders aussieht.

## Wie weiter?

Die Gliederung der Wissenschaft in die aktuellen Disziplinen ist ein sozialer Fakt und lässt sich wegen der Beharrlichkeit sozialer Systeme nicht von heute auf morgen ändern. Dagegen zu kämpfen ist ebenso sinnlos wie ehrenhaft und wichtig.

Aber vielleicht ist es viel einfacher, die Disziplinen zu vergessen?

Schon längst liegen Forderungen auf dem Tisch, Wissenschaft als Einheit zu denken. Ansätze nicht zuletzt aus anderen Wissenstraditionen, den Natur-Kultur-Dualismus zu überwinden, diskutieren die Kulturwissenschaften seit etwa drei Jahrzehnten. Es mangelt auch nicht an mehr oder minder höflichen oder feindlichen Übernahmeangeboten von beiden Seiten, die regelmäßig auf wenig Gegenliebe bei ihren potenziellen Opfern treffen. Lange schon haben wir es mit Interdisziplinarität versucht und gelernt, dass sie in aller Regel scheitert und entweder in einem Nebeneinander



**PROF. DR. THOMAS MEIER** ist seit 2017 Geschäftsführender Direktor des Heidelberg Center for the Environment (HCE) der Universität Heidelberg, dessen Direktorium er seit der Gründung dieser Einrichtung im Sommer 2011 angehört. An der Universität Heidelberg hat er seit 2008 eine Professur für Ur- und Frühgeschichte inne. Zuvor lehrte er an den Universitäten Kiel, Heidelberg und München in den Bereichen Mittelalterarchäologie, Umwelt- und Siedlungsarchäologie sowie Archäologischer Theorie. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören neben der Archäologie des europäischen Mittelalters die Wirtschafts- und Sozialgeschichte sowie Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie.

Kontakt: [thomas.meier@zaw.uni-heidelberg.de](mailto:thomas.meier@zaw.uni-heidelberg.de)

der disziplinären Erkenntnisse, der Multidisziplinarität, verhaftet bleibt oder in hegemonialer Dominanz eines Fachs über das andere endet. Wir feiern es schon mit hochgerichtetem theoretischem Vokabular, wenn es uns gelingt, uns wenigstens auf einen gemeinsamen Forschungsgegenstand zu verständigen. Das liegt zuweilen am intellektuellen Unwillen der Beteiligten, die Welt auch einmal ganz anders zu denken, zumeist aber an den sozialen Fakten der Forschungsumgebung, welche die Beteiligten dazu zwingen, zuallererst von ihren Instituten und damit von den Disziplinen zu agieren – also multi- und gerade nicht interdisziplinär: Die Mittelvergabe erfolgt über die Institute, dort sind die Stellen angesiedelt, auf denen man und frau bezahlt wird, Jobs werden disziplinär ausgeschrieben, so sind die Zitationsindizes organisiert, und disziplinär werden – allen Beteuerungen zum Trotz – die allermeisten An- und Beiträge begutachtet. Es ist disziplinäres und letztlich auch ökonomisches Fehlverhalten, interdisziplinär zu arbeiten. Wenn man oder frau den letzten Bauernhof, den sie in ihrem akademischen Leben anstrebten, erobert haben, können sie sich so etwas leisten, aber für alle USO ist Interdisziplinarität akademischer Suizid. Und deswegen sollten wir Interdisziplinarität – aus Verantwortung gegenüber dem Nachwuchs – auch bleiben lassen.

#### Gebraucht wird Anti-Diszipliniertheit

Aber die Probleme der Welt sind zu drängend und das Wissenschaftssystem so offenkundig ungeeignet für ihre Lösung, dass es schlicht keine Option ist, uns nun wieder frustriert in unseren einzel-fachlichen Schrebergärten zu verschanzen. Was wir brauchen, ist ein neuer Ansatz, der weitaus mutiger ist als die Interdisziplinarität: Er darf nicht mehr die Disziplinen als die Basis späterer Zusammenarbeit postulieren, sondern muss betont gegen die disziplinäre Fraktionierung der Welt gerichtet, kurz: Er muss anti-disziplinär sein! Er muss die etablierten Fächergrenzen lautstark ignorieren, die disziplinäre Aufteilung der Welt mit einem Lachen auf den Kopf stellen, sich nicht auf den Schultern übermächtiger Riesen wähen, sondern im Dschungel der Probleme den gescheiterten Riesen die Zunge herausstrecken und statt mit tausend Füßen in verschiedene Richtungen zu diskutieren, mit einem kräftigen Bein auf das jeweilige Ziel losspringen.

Wenn die Universität von heute etwas zur Welt von morgen beitragen möchte, wäre sie gut beraten, dieser „undisziplinierten Anti-Diszipliniertheit“ ein großzügiges Biotop zu schaffen – nicht nur umfassende intellektuelle, sondern vor allem auch ökonomische und soziale Freiräume, denn auch der akademische Kopf lebt nicht vom Denken allein: mit einem großzügigen Budget, das es erlaubt, riskante Entdeckungsfahrten ins nicht-disziplinierte Niemandsland und in disziplinär verwüstete Ruinenlandschaften zu starten, mit festen Stellen auf allen akademischen Ebenen, um dem zwischen Prekariat und Selbstausbeutung zermahlenden akademischen Nachwuchs einen Grund und

eine Perspektive zu geben, sich auf eine neue Wissenschaft und eine neue Universität jenseits der Disziplinen einzulassen. Und mit eigenen, grundständigen Studiengängen, die nicht zufällige Mosaik der heutigen Fächerkanones sind, sondern problemgeleitet auf die großen gesellschaftlichen Herausforderungen der Zukunft zielen – und damit auch ein eigenes Lehrpersonal brauchen. Nota bene: Es kann nicht darum gehen, auf diesem Wege neoliberale Nützlichkeitsfantasien noch weiter zu beflügeln, sondern es geht darum, Freiräume für neue und ganz ergebnis- und anwendungs offene Vorstellungen von der Welt zu schaffen (also das, was Universität der Idee nach schon einmal war).

#### Zwischen Wundererwartungen und Zukunftsunsicherheit

Mit dem Organisationsinstrument der „Zentralen Wissenschaftlichen Einrichtung“ hat das baden-württembergische Hochschulgesetz ein erstes zaghaftes Format geschaffen, das in solch eine Richtung genutzt werden könnte. Doch solange diese Einrichtungen im Budget von den zufälligen Hochs und Tiefs der Exzellenzerfolge abhängen, solange sie nicht jeweils über mehrere Professuren mit Mittelbau und eigene, ganz neu und andersartig konzipierte Studiengänge verfügen, bleiben sie letztlich Plünderungsobjekte der beteiligten Institute und ihrer Vertreter. Die Universitäten werden sich entscheiden müssen, ob sie diese neuen Wege wirklich und dann mit weitreichenden Konsequenzen gehen möchten oder ob es bei schamhaften Feigenblättchen bleiben soll.

#### Vernetzte Umweltwissenschaften: Das Heidelberg Center for the Environment

Das Heidelberg Center for the Environment (HCE) vernetzt die umweltorientierte Forschung an der Universität Heidelberg. Ziel des Zentrums, das zurzeit 13 institutionelle und 80 persönliche Mitglieder aus rund 27 Disziplinen umfasst, ist es, über Fächer- und Disziplinengrenzen hinweg den ökologischen Auswirkungen des natürlichen, technischen und gesellschaftlichen Wandels auf den Menschen wissenschaftlich zu begegnen und so große gesellschaftliche Herausforderungen der Zukunft zu gestalten. Dabei setzt das HCE gezielt auf eine enge interdisziplinäre und integrative Zusammenarbeit, da die Komplexität und die kulturelle Gebundenheit der heutigen Umweltprobleme das Analyseraster einzelner Methoden oder Disziplinen sprengen. Mit ihren vielfältigen Einrichtungen und Kompetenzen in den Umweltwissenschaften sticht die Universität Heidelberg, auch international, als ein Ort heraus, an dem diese Gesamtsicht auf die Umwelt entwickelt und gleichzeitig in die Lehre und den öffentlichen Diskurs eingebracht werden kann.

[www.hce.uni-heidelberg.de](http://www.hce.uni-heidelberg.de)

AGAINST THE SEGMENTATION OF THE WORLD

# SOLUTIONS FOR THE WORLD OF TOMORROW

THOMAS MEIER

The fragmentation of the world between the sciences and humanities is the arbitrary product of a specifically western history of mindset. This arbitrariness does not imply that knowledge produced by the academic disciplines is necessarily worthless or wrong. Quite to the contrary, many celebrated benefits of modernity were only made possible by this mode of thinking. However, the problems caused by the deep trench between the two faculties are tremendous, and the trench itself turns out to be part of them.

The humanities and the sciences are based on fundamentally different ideas of the world: whereas the humanities see it as a kind of text to be renegotiated, reinterpreted and understood anew in each cultural context, to the sciences it is a material entity that can be observed, measured and explained in terms of an objective truth, independent of and valid in any context. Based on these fundamentally different basic assumptions, the sciences and humanities have evolved into highly distinct and mutually exclusive social modes of disciplinary behaviour, enforced by the strictly disciplinary organisation of universities and the academic labour market. Disciplinary disobedience quickly leads to economic and social exclusion.

To address today's problems, not least in the field of the environment, we urgently need to develop a new re-unified academic culture that explicitly transgresses, ignores and abolishes any disciplinary order. An academic mode, in fact, that is explicitly and categorically anti-disciplinary! If universities want to contribute to solutions to current and future problems, they should provide ample and well-equipped space for such new academic thinking. The "Central Research Institutions" can be a first step in this direction, but to make them hotspots of anti-disciplinarity requires generous and reliable funding, a considerable number of personnel and study courses that go beyond any disciplinary structures and are flexible enough to react quickly to the ever-changing problems of the world. ●



PROF. DR THOMAS MEIER has served on the board of the Heidelberg Center for the Environment (HCE) since its establishment in the summer of 2011, and in 2017 became the centre's managing director. He joined Heidelberg University in 2008 as a professor of pre- and protohistory. Prior to that, he taught medieval archaeology, environmental and settlement archaeology and archaeological theory at the universities of Kiel, Heidelberg and Munich. In addition to European medieval archaeology, his research interests include economic and social history, epistemology and the theory of science.

Contact: [thomas.meier@zaw.uni-heidelberg.de](mailto:thomas.meier@zaw.uni-heidelberg.de)

**“We are increasingly becoming aware that, in their current state, our sciences are not fit to deal with the problems ahead.”**

**„Die Umwelt in all ihrer  
Komplexität und mit  
all ihren menschengemachten  
Problemen ist eines  
der Felder, auf denen sich die  
Zukunft der Menschheit  
entscheiden wird – und zwar  
nicht nur biologisch,  
sondern auch kulturell.“**

Wer nun vermutet, dass ich pro domo des Heidelberg Center for the Environment (HCE) rede, der hat recht – aber ich spreche genauso für alle anderen dieser Zentren, die es derzeit zwischen Wundererwartungen, Zukunftsunsicherheit und eklatanter Unterausstattung zerreibt. Die Umwelt in all ihrer Komplexität und mit all ihren menschengemachten Problemen ist sicherlich eines der Felder, auf denen sich die Zukunft der Menschheit in recht absehbarer Zeit entscheiden wird – und zwar nicht nur biologisch, sondern auch kulturell. Hier tut eine vollkommen neue Form der problem- und zukunftsorientierten Wissensproduktion und -vermittlung, die auf der ganzen Breite von Kultur-, Sozial-, Natur- und Lebenswissenschaften aufsetzt und sie zugleich in ihren disziplinären Befangenheiten überwindet, ganz besonders not – und zwar jetzt! ●

**DER MENSCH ALS**

**GEOLOGISCHE**

**KRAFT**

DER MENSCH ALS GEOLOGISCHE KRAFT

# DAS ZEITALTER DES ANTHROPOZÄNS

OLAF BUBENZER, HANS GEBHARDT & FRANK KEPPLER

**Leben wir in einem neuen, vom Menschen bestimmten Erdzeitalter? Diese Frage wird intensiv und kontrovers innerhalb und außerhalb der Geowissenschaften diskutiert. Während Geowissenschaftler nach eindeutigen Markern in Eisbohrkernen, Sedimentschichten und Böden suchen und dem „Golden Spike“ auf der Spur sind, der den Beginn des sogenannten Anthropozäns markieren soll, wird der Begriff in den Gesellschaftswissenschaften und in der Öffentlichkeit breiter und kritischer betrachtet. An der Universität Heidelberg spielen Mensch-Umwelt-Wechselwirkungen in Forschungsprojekten und auch in der Lehre eine zunehmende Rolle.**

# B

Bereits Alexander von Humboldt, dessen Geburtstag sich am 14. September 2019 zum 250. Mal jährte, erkannte die Auswirkungen menschlichen Handelns auf die Umwelt. In der Folgezeit wiesen vor allem Geowissenschaftler wie George Perkins Marsh (1864, „Man and Nature“), Antonio Stoppani (1873, „Anthropozoic“), Alexander Petrovich Pavlov (1992, „Anthropogene“) und auch Vladimir Vernadsky (1924, „Noosphere“) wiederholt darauf hin, dass der Mensch zu einem wichtigen Faktor im natürlichen Prozessgeschehen auf der Erde geworden sei. Es dauerte jedoch bis zum Jahr 2000, bis der Atmosphärenforscher und Nobelpreisträger Paul Crutzen den Begriff „Anthropozän“ (von „Anthropos“ – Mensch und „zän“ – Epoche) in die wissenschaftliche Debatte trug – zunächst während einer Konferenz in Mexiko und dann gemeinsam mit dem Biologen Eugene Stoermer. Er wies darauf hin, dass der Mensch der dominierende Faktor im (Klima-)System Erde geworden sei, da spätestens mit dem Beginn der Industrialisierung nahezu alle wichtigen Stoffkreisläufe – beispielsweise Stickstoff-, Phosphor- und Kohlenstoffkreislauf – maßgeblich und nachfolgend verstärkt von menschlichen Einflüssen verändert worden seien.

In den Folgejahren wurde der Begriff Anthropozän in anderen Wissenschaftsdisziplinen und zunehmend auch in der breiten Öffentlichkeit diskutiert. Die Geowissenschaften suchen dabei vor allem nach einer klaren Einordnung in die geologische Gliederung der Erdgeschichte und einem klar zu definierenden Startzeitpunkt für dieses neue Zeitalter. Dagegen führte die Diskussion in anderen Disziplinen wie Biologie, Ökonomie, Philosophie, Soziologie, Politikwissenschaften und Ethnologie sowie in der Öffentlichkeit – etwa in Zeitungsartikeln, Filmen und Ausstellungen – zu einer wesentlich breiteren Wahrnehmung und Ausdeutung des Begriffes.

## Die geologische Perspektive

Mit der Industrialisierung ist der Mensch eine geologische Kraft geworden: Noch nie hat eine Spezies das Gesicht des Planeten Erde in so kurzer Zeit so grundlegend verändert. Die dramatischsten Veränderungen, die häufig unter dem Begriff „The Great Acceleration“ zusammengefasst werden, setzten in den 1950er-Jahren ein. Seither verändern sich die biogeochemischen Kreisläufe und die als Biodiversität

bezeichnete biologische Artenvielfalt in erheblichem Maße. Die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf unserer Erdoberfläche sind unübersehbar und werden durch Aufnahmen aus dem All besonders augenscheinlich. Wenn nicht eine globale Extremkatastrophe die Menschheit trifft, wird sich diese Rolle als dominierende Kraft in der Umwelt weiter verstärken. In der Erdsystemforschung spielen dabei die Begrifflichkeiten „Kippelemente“ und „Kippunkte“ eine wichtige Rolle.

## Kippelemente als Achillesfersen im Erdsystem

Was ist mit „Kippelementen“ und „Kippunkten“ gemeint? Seit einigen Jahrzehnten ermöglicht es die Analyse von Satellitendaten, die anthropogene Überprägung und Umgestaltung der Landoberflächenbedeckung zu erfassen, woraus eindrucksvolle Karten entstanden sind. Das zunehmende Wissen um die globalen Stoffkreisläufe bewegte den Resilienzforscher Johan Rockström und den Klimaforscher Will Steffen dazu, planetarische Grenzen („Planetary Boundaries“) für die anthropogene Beeinflussung wichtiger globaler biophysikalischer Stoffkreisläufe sowie die Biosphäre und die Landnutzung vorzuschlagen. Damit bauten sie letztendlich auf dem 1972 veröffentlichten Report des Club of Rome mit dem Titel „Die Grenzen des Wachstums“ auf. Bei einem Überschreiten dieser planetarischen Grenzen, beispielsweise durch einen zunehmenden Schadstoffeintrag oder durch Waldrodung, könne es zu unumkehrbaren Schäden kommen, erklärten die Wissenschaftler. Die negativen Veränderungen verlaufen nach diesen Szenarien schleichend oder auch schnell, sobald kritische Schwellenwerte überschritten wurden.

In diesem Zusammenhang identifizierten und diskutierten der Klima- und Erdwissenschaftler Tim Lenton sowie der Physiker und Klimaforscher Hans Joachim Schellnhuber sogenannte Kippelemente oder Kippunkte als „Achillesfersen im Erdsystem“: Darunter sind Bestandteile des Erdsystems von überregionaler Größe zu verstehen, die ein Schwellenverhalten in Bezug auf das Hintergrundklima aufweisen. Damit ist gemeint, dass sie, wenn sie bereits nah an einem Schwellenwert operieren, schon durch kleine externe Störungen in einen qualitativ neuen Zustand versetzt werden können. Manche dieser Kippunkte könnten bereits im Laufe des 21. Jahrhunderts überschritten werden oder sind sogar schon überschritten. Allerdings lässt sich bislang nicht aus Beobachtungen ableiten, wo genau ein solcher Punkt liegt – also beispielsweise bei welcher Temperatur oder bei welcher Niederschlagsmenge er überschritten wird – beziehungsweise ob er überhaupt existiert. Ein solches „Umkippen“ stellt also ein Risiko dar, bei dem der Schaden gewaltig, aber die Wahrscheinlichkeit des Eintretens unbekannt ist. Nach Einschätzung von Experten stellt das Abschmelzen des arktischen Meereises und des grönländischen Eisschildes derzeit die größte Bedrohung dar.

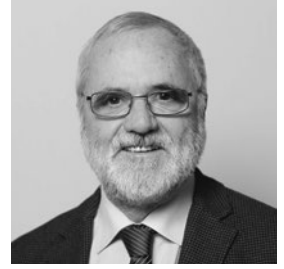




**PROF. DR. OLAF BUBBENZER** leitet seit dem Jahr 2017 den Forschungsbereich „Geomorphologie und Bodengeographie“ am Geographischen Institut der Universität Heidelberg, den er bereits in den Jahren 2007 bis 2012 vertrat. In der Zwischenzeit forschte und lehrte er an der Universität zu Köln, wo er die „AG Quartärforschung und Angewandte Geomorphologie“ sowie die „Abteilung für Afrikaforschung“ leitete. Aktuell ist er Teilprojektleiter in den Sonderforschungsbereichen 806 „Unser Weg nach Europa: Kultur-Umwelt-Interaktion und menschliche Mobilität im späten Quartär“ und 1211 „Evolution der Erde und des Lebens unter extremer Trockenheit“. Olaf Bubbenzer ist Fellow des Marsilius-Kollegs und Gründungsdirektor des Heidelberg Center for the Environment (HCE). Seine Schwerpunkte liegen in der physisch-geographischen Trockengebietforschung einschließlich Mensch-Umwelt-Interaktionen.

Kontakt: olaf.bubbenzer@uni-heidelberg.de

**„Mit der Industrialisierung ist der Mensch eine geologische Kraft geworden: Noch nie hat eine Spezies das Gesicht des Planeten Erde in so kurzer Zeit so grundlegend verändert.“**



**PROF. DR. HANS GEBHARDT** wurde 1996 auf die Professur für Anthropogeographie an der Universität Heidelberg berufen, seit 2018 ist er als Seniorprofessor tätig. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der modernen Kulturgeographie und der Politischen Geographie, regional im Vorderen Orient, in Südostasien und in China. Er war Fellow des Marsilius-Kollegs und gehört zu den Gründern des Heidelberg Center for the Environment (HCE). Gemeinsam mit dem Umweltphysiker Prof. Dr. Ulrich Platt und dem Umweltökonom Prof. Timo Goeschl organisierte Hans Gebhardt zwei interdisziplinäre Forschungsprojekte im Rahmen des Marsilius-Kollegs beziehungsweise des HCE zu den Themen „Global Change and Globalisation“ und „The Global Governance of Climate Engineering“.

Kontakt: hans.gebhardt@uni-heidelberg.de

### Löst das Anthropozän das Holozän ab?

Die drastischen Veränderungen auf der Erdoberfläche haben dazu geführt, dass in den Geowissenschaften intensiv darüber diskutiert wird, ob das Anthropozän offizieller Teil der geologischen Zeitskala wird und damit das Holozän – den gegenwärtigen Zeitabschnitt der Erdgeschichte, der seit dem Ende der letzten Eiszeit vor 11.700 Jahren gilt – als neue geologische Epoche ablöst. Aber auch die Geowissenschaftler sind sich in dieser Frage alles andere als einig.

Einige Kolleginnen und Kollegen sind überzeugt, es gebe überhaupt keinen Grund, eine neue geologische Epoche einzuläuten. Um ein neues Zeitalter auszurufen, müssen aus geologischer Sicht eindeutige stratigraphische Kriterien erfüllt werden, also Kriterien, die geologische Schichten und die Chronologie betreffen. Somit muss sich in einem Zeitraum der Erdgeschichte, die etwa 4,5 Milliarden Jahre umfasst, etwas grundlegend und weltweit verändert haben. Dokumentiert sein kann das durch eine Gesteinsschicht mit bestimmten Leitfossilien wie beispielsweise Trilobiten und Ammoniten oder mit Meeresablagerungen, durch besondere Gesteinsformationen oder durch charakteristische Einschlüsse in Eisbohrkernen – wobei letztere Umweltarchive bei fortschreitendem Klimawandel bald verschwunden sein werden.

Die Entscheidung darüber, ob wir in einem neuen Zeitalter leben, trifft ein ausgewähltes Gremium von Experten: die Internationale Stratigraphische Kommission (International Commission on Stratigraphy, ICS). Die ICS hat zur Klärung dieser Frage eine 34-köpfige Arbeitsgruppe eingesetzt, an der neben Geologen auch Klimaforscher, Ökologen und Juristen beteiligt sind. Diese Arbeitsgruppe „Anthropozän“, zu der auch Nobelpreisträger Crutzen und der Berliner Geologe und Paläontologe Reinhold Leinfelder gehören, beschäftigt sich seit dem Jahr 2009 mit der Ausarbeitung einer Empfehlung. Am 21. Mai 2019 wurde beschlossen, dass das Anthropozän als chronostratigraphische Einheit mit einem „Global Stratotype Section and Point“ (GSSP), also einer klar zu definierenden zeitlichen Untergrenze, behandelt werden soll. Als diese Untergrenze soll eines der „stratigraphischen Signale“ gefunden werden, die seit Mitte des 20. Jahrhunderts deutlich messbar und global verbreitet sind – beispielsweise das Auftreten von Radionukliden nach dem Test von Atombomben, Plastik, Verbrennungsrückstände, synthetische Chemikalien, Technologiefossilien, Schwermetalle oder Biodiversitätsverlust.

### Die Suche nach dem „Golden Spike“

In den Geowissenschaften wird die Untergrenze eines erdgeschichtlichen Abschnittes möglichst mit einem sogenannten „Golden Spike“ markiert. Ursprünglich stammt dieser Begriff aus der (Eisenbahn-)Geschichte Nordamerikas: Am 10. Mai 1869, also vor 150 Jahren, wurde im Bundesstaat Utah der letzte (goldene) Nagel zur Vollendung der



**PROF. DR. FRANK KEPPLER** studierte Geologie und Paläontologie an der Universität Heidelberg, an der er auch im Fach Mineralogie promoviert wurde. Es folgten Postdoc-Aufenthalte als Marie-Curie-Fellow an der Queen's University in Belfast (Vereinigtes Königreich) und am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg. Im Jahr 2006 erhielt er den European Young Investigator Award und wurde Nachwuchsgruppenleiter am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz, an dem er auch mit Nobelpreisträger Paul Crutzen zusammenarbeitete. Als Heisenberg-Professor kehrte Frank Keppler im Jahr 2014 an die Universität Heidelberg zurück und etablierte dort die Forschungsgruppe für Biogeochemie am Institut für Geowissenschaften. Das Forschungsinteresse des Marsilius-Fellows gilt der Untersuchung von globalen Stoffkreisläufen und deren starken Beeinflussung durch den Menschen.

Kontakt: [frank.keppler@geow.uni-heidelberg.de](mailto:frank.keppler@geow.uni-heidelberg.de)

transkontinentalen Eisenbahn eingeschlagen. Um eine idealerweise weltweit aufzufindende Untergrenze eines erdgeschichtlichen Abschnittes definieren zu können, bedarf es also einer sogenannten Typuslokalität, die stellvertretend für dessen Beginn steht. Während Paul Crutzen den Beginn der Industrialisierung und die damit zunehmende Verunreinigung der Atmosphäre als Beginn des Anthropozäns vorschlug, sehen andere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Beginn der „Dominanz des Menschen über die Natur“ schon früher. Vorgeschlagen werden beispielsweise:

- das Massenaussterben der späteiszeitlichen Großsäuger, vermutlich infolge anthropogener Bejagung, etwa 12.000 v. Chr.;
- das Sesshaftwerden des Menschen mit der Einführung von Ackerbau und Viehzucht und den damit verbundenen regional großflächigen Waldrodungen – womit das Anthropozän nahezu das aktuelle Holozän (seit etwa 11.700 Jahren) ersetzen könnte;
- die großflächige Ausdehnung des Nassreisens seit etwa 5.000 Jahren und der damit in Zusammenhang gebrachte Anstieg der Methankonzentration in der Atmosphäre;
- das seit 1.000 Jahren weltweit deutlich verstärkte Auftreten von Bodenerosionserscheinungen.

Aus physisch-geographischer und geoarchäologischer Sicht ist es allerdings problematisch, dass die durch den Menschen verursachten Veränderungen im regionalen Vergleich zu unterschiedlichen Zeiten und in unterschiedlicher Ausprägung und Intensität aufgetreten sind.

### Kontrakt, Komposition, Konflikt

Eine kritische Sicht des Konzeptes Anthropozän kommt vor allem aus den Geistes- sowie den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Anthropozän hat in der neueren Debatte zwei Seiten: einerseits als wissenschaftliches Konzept und Gegenstand geologischer Debatten und andererseits als Idee, welche inzwischen auch die Gesellschaftswissenschaften und die Öffentlichkeit durchdringt und die Frage nach der Wechselbeziehung zwischen Gesellschaft und Umwelt aufwirft. Manche Autoren sprechen gar vom „Capitolocene“ und sehen somit das Anthropozän primär als Ergebnis eines desaströsen Kapitalismus; Politologen vermissen ein „Re-politicizing the Anthropocene“.

In den vergangenen Jahren ist nicht nur eine Fülle von wissenschaftlichen Publikationen zum Anthropozän erschienen, sondern der Begriff hat es auch in populäre Medien wie „Der Spiegel“ und „Die Zeit“ geschafft, es werden Ausstellungen dazu gestaltet und Diskussionsrunden darüber bestritten. Dabei wird Anthropozän in seinem Bedeutungsinhalt nicht selten ausgeweitet, wird zum Synonym für „das technische Zeitalter“, „die Zivilisationsgeschichte“ oder gar „die großen Probleme unserer Zeit“ schlechthin.

# „In den Geowissenschaften wird die Untergrenze eines erdgeschichtlichen Abschnittes möglichst mit einem sogenannten ‚Golden Spike‘ markiert.“

Ähnlich wie „Nachhaltigkeit“ oder „Resilienz“ wird der Begriff dann zunehmend zu einem „leeren Signifikanten“, der alles und damit letztlich nichts bedeuten kann. Dies zeigt sich nicht zuletzt im sehr unterschiedlichen Umgang mit dem, was Anthropozän für die „Menschheit“ bedeuten könnte. Autoren wie der Rechtsethiker Jens Kersten diskutieren drei mögliche Konzeptionalisierungen des Begriffs: als Kontrakt, als Komposition oder als Konflikt.

Ein Anthropozän-Konzept als Kontrakt knüpft an die Idee eines globalen Gesellschaftsvertrags an. So integriert der Klimafolgenforscher Hans Joachim Schellnhuber einen „modernen Leviathan“ in seine Erdsystemanalyse: Das Anthropozän erfordere einen kognitiven Wandel der globalen Zivilisation, die sich ihrer Bedeutung als formende Kraft zunehmend bewusst werde. Es sei eine neue soziale „Geschäftsgrundlage“ erforderlich, ein neuer „Weltgesellschaftsvertrag“ für eine klimaverträgliche und nachhaltige Weltwirtschaftsordnung. Ein solcher globaler Gesellschaftsvertrag dürfe jedoch Illusion bleiben, er ist kulturräumlich undifferenziert und normativ überdimensioniert und bleibt gerade für eine Wissenschaft der räumlichen Differenz wie die Geographie fragwürdig.

Ein kompositionistisches Anthropozän-Konzept entfaltet unter anderem der Soziologe und Philosoph Bruno Latour (2010). Dabei geht er von einer „Loop-Vorstellung“ aus: Die Konsequenzen ihres Handelns kehren zu den Menschen selbst zurück, so dass ihnen die so entstehende loopförmige

Handlungssphäre als weitgreifende Verantwortungssphäre bewusst wird. Auch dieses Konzept bleibt letztlich fragwürdig: Gerade beim globalen Klimawandel, aber auch beim Artensterben fallen Ursachen und Wirkungen räumlich wie zeitlich weit auseinander: räumlich insofern, als die Verursacher in den alten Industrieländern der OECD-Welt sitzen, die Betroffenen aber im globalen Süden – beispielsweise auf Inseln, die vom Meeresspiegelanstieg bedroht sind. Zeitlich hingegen insofern, als wesentliche Grundlagen des anthropogen verursachten Umweltwandels bereits von unseren Vorgängern gelegt wurden, die dramatischen Folgen aber erst unsere Kinder und Kindeskiner zu spüren bekommen werden.

Dem Anliegen einer kritischen Humangeographie wird wohl ein konfliktorientiertes Modell am ehesten gerecht: Wenn die Handlungen von Akteuren nicht auf die eigene Lebensführung zurückwirken, sondern andere Gruppen an anderen Orten und anderen Zeiten betreffen, so sind sie als räumliche Konfliktforschung ein Thema der Politischen Geographie. Das Anthropozän war in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft ein Erdzeitalter der lokalen, regionalen und globalen Konflikte. Im Diskurs um den globalen Klimawandel wurde spätestens auf der UN-Klimakonferenz in Kopenhagen im Jahr 2009 deutlich, dass wir eben nicht alle in einem Boot sitzen, sondern in sehr verschiedenen. Inzwischen wird der globale Klimawandel häufig als „Sicherheitsproblem“ konstatiert; es werden „Klimakriege“ heraufbeschworen und es wird

über Strategien (der alten Industrieländer) gegenüber Umweltflüchtlingen diskutiert. Das Anthropozän ist in dieser Sicht das Ergebnis einer disparitären Welt mit asymmetrischen Machtstrukturen. Nicht der Mensch oder die Menschheit sind zu einer erdgeschichtlichen Kraft geworden, sondern ganz konkrete Menschen, die sich bisher in den Sozial- und Wohlstandsökonomien der OECD-Welt eingerichtet haben. Diese verhängen, wie es unter anderem der Berliner Geologe und Paläontologe Reinhold Leinfelder ausdrückt, eine Art globale Sippenhaftung aller Menschen für Probleme wie den Klimawandel, die in Wahrheit von einer Minderheit im kapitalistischen Westen verursacht werden.

**Marsilius-Kolleg:**

**Brücken zwischen Disziplinen bauen**

Als „Center for Advanced Study“ wurde das Marsilius-Kolleg 2007 als ein zentraler Baustein des Zukunftskonzepts gegründet, mit dem die Universität Heidelberg in beiden Runden der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder erfolgreich war. Benannt nach Marsilius von Inghen, dem ersten Rektor der Universität Heidelberg 1386, trägt es dazu bei, wissenschaftlich tragfähige Brücken zwischen den verschiedenen Fächerkulturen zu schlagen, um auf diese Weise die Idee einer Volluniversität entscheidend zu fördern. Das Marsilius-Kolleg versteht sich als Ort der Begegnung und der Innovation, an dem disziplinenübergreifende Forschungsprojekte realisiert werden. Seit 2014 leiten der Biologe Prof. Dr. Thomas Rausch und der Historiker Prof. Dr. Bernd Schneidmüller als Direktoren die Einrichtung.

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. Bisher wurden fünf Projekte erfolgreich abgeschlossen: „Menschenbild und Menschenwürde“, „Perspectives of Ageing in the Process of Social and Cultural Change“, „The Global Governance of Climate Engineering“, „Ethische und rechtliche Aspekte der Totalsequenzierung des menschlichen Genoms“ sowie „Gleichheit und Ungleichheit bei der Leberallokation“.

[www.marsilius-kolleg.uni-heidelberg.de](http://www.marsilius-kolleg.uni-heidelberg.de)

# „Das Anthropozän war in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft ein Erdzeitalter der lokalen, regionalen und globalen Konflikte.“

**Eine neue Aufklärung**

Das Thema Anthropozän ist mit der Forschung an der Universität Heidelberg eng verbunden, insbesondere mit Projekten zur Gesellschafts-Umweltforschung, die unter anderem im Heidelberg Center for the Environment (HCE) verwirklicht werden. Hierzu gehören die beiden Nachwuchsgruppenprojekte zu „Umwelt und Gesellschaft. Handeln in Hungerkrisen der Frühen Neuzeit“ und „Umwelt und Gesundheit in ariden Regionen“ sowie im Umfeld des Marsilius-Projekts „The Global Governance of Climate Engineering“ durchgeführte Arbeiten.

In den Geowissenschaften erforschen wir die Ursachen und Folgen von Klimaveränderungen in der Vergangenheit. Aus den Abläufen der erdgeschichtlichen Vergangenheit lassen sich Vorhersagen zur nahen und fernen Zukunft der Erde ableiten. In der Forschungsgruppe Biogeochemie gibt es verschiedene Projekte, die darauf abzielen, lokale Quellen des Klimagases Methan zu erfassen, um dadurch den globalen Kreislauf von Methan besser zu verstehen. Damit lässt sich der Beitrag des anthropogenen Methans zu zukünftigen Klimaänderungen besser abschätzen. Auch in verschiedenen geoarchäologischen Projekten und dem Masterstudiengang Geoarchäologie, der in interdisziplinärer Weise Kenntnisse und Methoden der Archäologie, Ur- und Frühgeschichte sowie der Geographie und Geowissenschaften kombiniert, spielen Fragen zu Mensch-Umwelt-Wechselwirkungen eine wichtige Rolle.

HUMANS AS A GEOLOGICAL FORCE

# THE ANTHROPOCENE

OLAF BUBENZER, HANS GEBHARDT &amp; FRANK KEPPLER

Do we live in a new geological era that is shaped by our presence on the planet? This question is giving rise to intense and controversial debates. Alexander von Humboldt already noted the impact of human activity on the environment. But it was not until the year 2000 that the atmospheric researcher and Nobel laureate Paul Crutzen introduced the term of the “Anthropocene” into the scientific debate. In industrialising the world, humans became a geological force: never before has a species changed the face of the planet so fundamentally, and in so short a time. The most dramatic changes, frequently summarised under the term “The Great Acceleration”, began in the 1950s.

While geoscientists search for distinct markers in ice cores, sediment layers and soils and are on a quest for the “golden spike” that allegedly marks the beginning of the Anthropocene era, the term is used more widely, and discussed more critically, by social scientists and the general public. As a reflection on the current state of the world, the term “Anthropocene” indeed provides a new perspective. It uncovers the countless interconnections between nature, social affairs and technology and raises awareness of the implications for our planet. More specifically, it attributes a global importance to the geosciences that members of this discipline will certainly welcome for political reasons. Among social scientists, on the other hand, there are concerns that the definition of the Anthropocene as a quasi-geological era might lead to a de-politicisation of the associated global environmental changes.

But the debate centring on the Anthropocene is not purely academic. It also touches on the basic question of whether and how we can live on the earth in the long term. At Heidelberg University, the interaction between humans and the environment plays an increasingly important role in research and teaching alike. ●

**PROF. DR FRANK KEPPLER** studied geology and palaeontology at Heidelberg University, where he also obtained his PhD in mineralogy. He then worked as a postdoctoral researcher and Marie Curie Fellow at Queen's University in Belfast (UK) and at the Max Planck Institute for Nuclear Physics in Heidelberg. In 2006 he received the European Young Investigator Award and became head of a junior research group at the Max Planck Institute for Chemistry in Mainz, where he worked with Nobel laureate Paul Crutzen, among others. In 2014 Frank Keppler returned to Heidelberg University as a Heisenberg Professor and established the research group for biogeochemistry at the Institute of Earth Sciences. He is a Marsilius Fellow whose main research interest is the investigation of global biogeochemical cycles and how they are impacted by human activity.

Contact: frank.keppler@  
geow.uni-heidelberg.de

**PROF. DR OLAF BUBENZER** has been heading the "Geomorphology and Soil Geography" research centre at Heidelberg University's Institute of Geography since 2017, a position he held once before, between 2007 and 2012. In the intervening years, he conducted research at the University of Cologne, where he headed the "Working Group Quaternary Research and Applied Geomorphology" and the "Section on Africa Research". He is currently a project leader in Collaborative Research Centres 806 "Our Way to Europe" and 1211 "Earth – Evolution at the Dry Limit". Olaf Bubenzer is a fellow of the Marsilius Kolleg in Heidelberg and founding director of the Heidelberg Center for the Environment (HCE). His main scientific interest is the physical-geographical investigation of drylands, including human-nature interaction.

Contact: olaf.bubenzer@  
uni-heidelberg.de

**“In industrialising the world, humans became a geological force: never before has a species changed the face of the planet so fundamentally, and in so short a time.”**

**PROF. DR HANS GEBHARDT** accepted the Chair of Anthropogeography at Heidelberg University in 1996 and was made senior professor in 2018. He is particularly interested in modern cultural geography and political geography with special focus on the Near East, South East Asia and China. He is a former fellow of the Marsilius Kolleg and one of the founders of the Heidelberg Center for the Environment (HCE). With his colleagues, environmental physicist Prof. Ulrich Platt and environmental economist Prof. Timo Goeschl, Hans Gebhardt organised two interdisciplinary research projects for the Marsilius Kolleg and the HCE on the subjects of "Global Change and Globalisation" and "The Global Governance of Climate Engineering".

Contact: hans.gebhardt@  
uni-heidelberg.de

Als Fellows des Marsilius-Kollegs stellten wir Autoren dieses Beitrags das Konzept Anthropozän im Wintersemester 2018/2019 im Marsilius-Kolleg der Universität Heidelberg vor. Dabei beleuchteten wir das Für und Wider eines neuen Erdzeitalters aus verschiedenen Perspektiven. Mit unserem Gast Sir Philip Campbell - langjähriger Chefredakteur der renommierten Zeitschrift „Nature“ und jetzt Editor-in-Chief von „Springer Nature“ - konnten wir weitere Aspekte des Themas und insbesondere die Vermittlung wissenschaftlicher Erkenntnisse an eine breite Öffentlichkeit vertiefen.

Fazit: Der Begriff des Anthropozäns hat sich in vielen wissenschaftlichen und öffentlichen Debatten längst etabliert. Das Anthropozän als Reflexionsbegriff auf die heutigen Weltverhältnisse bringt durchaus eine neue Perspektive ins Spiel. Der Begriff macht die Verwobenheit von Natur, Sozialem und Technik sichtbar und er rückt eine planetarische Perspektive in den Blick. Speziell die Geowissenschaften lädt er mit einer globalen Bedeutsamkeit auf, die disziplinpolitisch sicher willkommen ist. Aus gesellschaftswissenschaftlicher Sicht gibt es eher Befürchtungen, dass die Erklärung des Anthropozäns als quasi geologische Epoche zu einer Entpolitisierung der damit verbundenen globalen Umweltveränderungen führen könnte. Machtvolle Akteure, Organisationen, Institutionen und deren räumlich differenziertes Handeln in einer globalisierten Welt drohen hinter der Kategorie „Menschen“ zu verschwinden.

Doch die Debatte um das Anthropozän ist keine rein akademische. Es geht auch um die grundlegende Frage, ob und wie wir langfristig auf der Erde leben können, einer Erde, auf der schon in wenigen Jahrzehnten zehn Milliarden Menschen leben werden. Der Club of Rome fordert daher in seinem neuen Buch „Wir sind dran“ neben einem nachhaltigen Umgang mit den Ressourcen eine neue Aufklärung, um kurzfristige Denkgewohnheiten und Handlungen abzulösen. ●

**„Die Idee des Anthropozäns wirft die Frage nach der Wechselbeziehung zwischen Gesellschaft und Umwelt auf.“**



**KIPPUNKT**

KIPPPUNKT

# VON KOORDINATION UND KOOPERATION

FLORIAN DIEKERT

**Wenn Menschen gemeinsam natürliche Ressourcen wie Weiden, Wälder oder Fischbestände nutzen, müssen sie Entscheidungen fällen, bei denen es um Fragen der Koordination und Kooperation geht. Wie beeinflussen drastische Veränderungen der natürlichen Umwelt die strategischen Entscheidungen der Akteure – und zwar Veränderungen, die in der Zukunft drohen, ebenso wie solche, die in der Vergangenheit liegen? Untersuchungen von Heidelberger Ökonomen zeigen, dass die Wechselwirkungen zwischen Umweltveränderungen und menschlichem Handeln eine wichtige Rolle für das Management der gemeinschaftlich genutzten Ressourcen spielen – beispielsweise bei Ökosystemen, die in ihrer Existenz bedroht sind.**

# E

Eine prägende Erinnerung aus meiner Kindheit sind die Sommerurlaube in Sankt Peter-Ording, in denen meine Cousins, meine Brüder und ich bei Wind und Wetter Sandburgen bauten und diese gegen die herannahende Flut verteidigten. Je näher das Wasser kam, desto intensiver schaufelten wir – bis zu einem gewissen Punkt, denn mit jeder Welle stellte sich die Frage: Lohnt es sich oder würde vielleicht schon die nächste Welle unsere Burg hinwegspülen? Arbeiteten wir gemeinsam, konnte es klappen; warf aber einer hin, dann war es auch um die Moral der anderen geschehen.

Dieses Beispiel zeigt im Kleinen, was auch im Großen gilt: Drastische Veränderungen der Umwelt, die in der Zukunft drohen, können einen starken Einfluss auf die strategischen Entscheidungen von Akteuren haben. Diese werde ich im ersten Teil dieses Beitrags näher beleuchten. Im zweiten Teil werde ich auf Veränderungen eingehen, die in der Vergangenheit liegen, und ein Verhaltensexperiment vorstellen, in dem ich mit meiner Forschungsgruppe untersuche, ob der Effekt von Umweltveränderungen davon abhängt, ob sie durch die strategischen Entscheidungen der Akteure oder durch äußere Einflussfaktoren hervorgerufen wurden.

Gemeinschaftlich genutzte Ressourcen wie Weiden, Wälder und Fischbestände (aber auch Verkehrsraum in der Innenstadt oder Internetbandbreite) sind durch ein Kooperationsproblem gekennzeichnet: Obwohl eine moderate Nutzung der gemeinschaftlichen Ressource für alle das Beste wäre, hat jeder Einzelne einen egoistischen Anreiz, seine Nutzung nicht zu begrenzen. Eine wichtige Frage unserer Zeit ist es, Lösungsansätze für dieses Kooperationsproblem zu finden. In den Wirtschaftswissenschaften wird die natürliche Umwelt der Ressourcensysteme meist nicht näher untersucht. Der Tradition der Nobelpreisträgerin Elinor Ostrom folgend, fragen wir in unserer Forschung nach den beidseitigen Rückkopplungen zwischen der Umwelt und ökonomischem Verhalten. Ein besseres Verständnis der Wechselwirkungen ermöglicht es hoffentlich, bessere Politikempfehlungen für das Management gemeinschaftlich genutzter Ressourcen geben zu können.

**Der Effekt drohender drastischer Veränderungen**  
In theoretischer Arbeit und mit Verhaltensexperimenten haben die Ökonomen Scott Barrett und Astrid Dannenberg

# „Da fast immer unbekannt ist, an welchem Punkt genau das System kippt, stellt sich letztlich die Frage, ob der optimistische Effekt eines bekannten Kipp- punktes nicht nur ein Luftschloss ist.“

aufgezeigt, dass ein drohender Kipppunkt mit plötzlich umschlagenden und unumkehrbaren Entwicklungen innerhalb eines Systems zu mehr Zusammenarbeit führen kann – falls bekannt ist, wo der Punkt liegt, an dem das System kippt. Dann nämlich kann ein Kipppunkt das Kooperationsproblem in ein Koordinationsproblem umwandeln. Wenn dieser Punkt aber unbekannt ist, dann – so die These – führt ein drohender Kipppunkt nicht zu mehr Zusammenarbeit.

Nehmen wir als Beispiel einen Fischbestand: Wenn sicher ist, dass der Bestand kollabiert, sobald der Fang eine gewisse Menge – sagen wir 100.000 Tonnen – übersteigt, dann stehen die Akteure (die Fischereinationen) vor einem Koordinationsproblem. Wenn die anderen Fischereinationen zu viel fangen, dann hat auch die letzte Fischereination keinen Anreiz, sich zurückzuhalten, denn der Bestand wird ohnehin zusammenbrechen. Wenn aber alle anderen Fischereinationen ihre Fangquote so setzen, dass der Gesamtfang 100.000 Tonnen nicht übersteigen wird, dann hat auch die letzte Fischereination keinen Anreiz, zu viel zu fangen. Der Fortbestand der Fischerei ist gesichert. Es handelt sich hier also um ein Koordinationsproblem, das zwar ein strategisches Risiko birgt, aber leicht mit Kommunikation gelöst werden kann.

In Barretts und Dannenbergs Experiment, das die gleiche strategische Struktur wie das Fischereibeispiel hat, sind in der Tat 18 von 20 Gruppen in der Lage, das Überschreiten des Kipppunktes zu vermeiden. Führen Barrett und Dannenberg aber Unsicherheit über die genaue Lage des Kipppunktes ein, dann ist keine einzige der 20 Gruppen in der Lage, das Überschreiten des Kipppunktes mit Sicherheit zu vermeiden. Der Grund dafür ist, dass sich die strategische Struktur verändert hat. Selbst wenn alle anderen Akteure wenig fangen würden, so kann der Kipppunkt doch nicht mit Sicherheit vermieden werden. Anstelle eines Koordinationsproblems müssen die Akteure wieder ein Kooperationsproblem lösen. Da in der Realität fast immer unbekannt ist, an welchem Punkt genau das System kippt, stellt sich letztlich die Frage, ob der optimistische Effekt eines bekannten Kipppunktes nicht nur ein Luftschloss ist.

## Das Element des Lernens

In der Arbeit von Barrett und Dannenberg fallen die Akteure aber nur eine Entscheidung. In eigener theoretischer Arbeit habe ich zeigen können, dass der Pessimismus über den Effekt eines unbekanntes Kipppunktes nicht notwendigerweise gerechtfertigt ist, wenn die Akteure mehrere Entscheidungen hintereinander fällen können. In einem solchen dynamischen Kontext kommt nämlich das Element des Lernens hinzu. Mein Modell ist stark vereinfachend, um dieses Element herauszustellen. Dabei nehme ich an, dass der Punkt, an dem das System kippt, sich im Laufe der Zeit nicht ändert. Die Akteure wissen aber nicht genau, wo dieser Kipppunkt liegt. Wir könnten zum Beispiel

# „Im dynamischen Kontext bleibt die abschreckende Wirkung einer drohenden drastischen Veränderung der Umwelt auch unter Unsicherheit gewahrt.“

sagen, dass der Kippunkt bei 100.000 Tonnen Fang liegt, aber die Akteure dies nicht wissen (sie mögen eine Wahrscheinlichkeitsvorstellung davon haben, dass der Kippunkt irgendwo in dieser Nähe ist). Wenn die Akteure zu einem gegebenen Zeitpunkt bis zu 90.000 Tonnen gefangen haben, und der Kollaps nicht eingetreten ist, dann wissen sie, dass ein Fang von 90.000 Tonnen auf jeden Fall sicher ist und das System nicht zum Kippen bringt. Die Akteure stehen nun vor der Entscheidung, ob sie weiterhin 90.000 Tonnen fangen und so den Bestand sicher für die Zukunft bewahren sollen oder ob sie die Fangmenge ausweiten und den Kollaps des Fischbestandes riskieren sollen. Wenn die Akteure die Fangmenge ausweiten, dann stellt sich eine zweite Frage: Wie viel mehr sollen die Akteure fangen – 95.000 Tonnen, 100.000 Tonnen, 105.000 Tonnen ...?

Letztere Frage ist ein Kooperationsproblem: Obwohl es für alle am besten wäre, den Fang nur so weit auszuweiten, dass der kollektive Mehrwert dem erhöhten Risiko gleicht, hat jeder Akteur den Anreiz, ein wenig mehr zu fangen, denn der Gewinn einer marginalen Ausweitung ist privat, während das Risiko von allen getragen werden muss. Die erste Frage aber, ob die Akteure die Fangmenge überhaupt ausweiten sollen, ist ein Koordinationsproblem. Hier geht es nämlich nicht um eine marginale Erhöhung des Risikos, sondern um den qualitativen Unterschied zwischen sicher und unsicher. Wenn alle anderen die Fangmenge nicht erhöhen, so hat auch der einzelne Akteur keinen Anreiz, den Fortbestand der Fischerei aufs Spiel zu setzen. Wenn aber alle anderen den Fang erhöhen, so wird auch die Zurückhaltung des Einzelnen den Fortbestand der Fischerei nicht garantieren können.

Sollten die Akteure die Fangmenge ausweiten, dann werden sie erfahren, ob die erweiterte Fangmenge den Kollaps hervorgerufen hat. In unserem Beispiel wäre dies bei einer Ausweitung der Fangmenge auf mehr als 100.000 Tonnen der Fall. Wenn die Akteure die Fangmenge auf 95.000 Tonnen ausgeweitet haben sollten, dann würden sie feststellen, dass auch ein Fang von 95.000 Tonnen noch sicher ist. In der nächsten Periode würde sich die Frage dann wieder stellen: Soll die Fangmenge ausgeweitet oder bei 95.000 Tonnen gelassen werden?

Im dynamischen Kontext stehen die Akteure also zunächst vor der Entscheidung, ob sie das Risiko eingehen sollen, die sichere Fangmenge auszuweiten und etwas über den Kippunkt zu lernen. Diese Entscheidung hat die strategische Struktur eines Koordinationsproblems, auch wenn die genaue Lage des Kippunkts unbekannt ist. Wie viel Risiko ein jeder Akteur einzugehen bereit ist, hängt von seiner Risikotoleranz ab. Obwohl sich diese von Akteur zu Akteur unterscheiden dürfte, ist es im Prinzip einfach, ein Abkommen zu schließen, ob die Fangmenge

### Forschungszentrum für Umweltökonomik

Das Forschungszentrum für Umweltökonomik (FZU) am Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften der Universität Heidelberg dient als gemeinsame Plattform für Ökonomen, die an der Schnittstelle von Umwelt und Wirtschaft forschen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nutzen theoretische, empirische und experimentelle Methoden, um die Herausforderungen eines nachhaltigen Umgangs mit der Umwelt besser zu verstehen und Lösungsvorschläge zu erarbeiten. Zu den Forschungsprojekten, an denen Mitglieder des FZU beteiligt waren oder sind, gehören unter anderem eine empirische Analyse der sozialpolitischen Konsequenzen der Energiewende in Deutschland, verschiedene Studien zu Climate Engineering, Untersuchungen zu Klimaschutzpolitik in alternden Gesellschaften und ein im Herbst 2018 gestartetes Verbundprojekt zur Ökonomie internationaler Klimapolitik. Direktor des Instituts, das Mitglied des Heidelberg Center for the Environment (HCE) ist, ist Prof. Timo Goeschl.

[www.uni-heidelberg.de/fakultaeten/wiso/awi/professuren/umwelt/fzu.html](http://www.uni-heidelberg.de/fakultaeten/wiso/awi/professuren/umwelt/fzu.html)

erhöht werden soll oder nicht. Im Gegensatz zu einem Kooperationsproblem hat nämlich jeder Akteur einen Anreiz, sich an das Abkommen zu halten, wenn sich die anderen auch daran halten.

### Hilfreiche Bedrohung

Zusammenfassend zeigt unser theoretisches Modell, dass im dynamischen Kontext die abschreckende Wirkung einer drohenden drastischen Veränderung der Umwelt auch unter Unsicherheit gewahrt bleibt. Während Versuche, die strategische Struktur des Ressourcenmanagements durch Sanktionen der Akteure von einem Kooperations- zu einem Koordinationsproblem zu wandeln, davon abhängen, dass die angedrohten Sanktionen tatsächlich auch umgesetzt werden, erfolgt die „Strafe der Mutter Natur“ automatisch und unerbittlich. Diese Bedrohung ist paradoxerweise hilfreich – ähnlich wie das atomare Gleichgewicht der „mutually assured destruction (MAD)“ während des Kalten Krieges.

Unser theoretisches Modell des Lernens ist natürlich in der Hinsicht unrealistisch, dass die einzige Möglichkeit, weitere Kenntnis über den Kipppunkt zu erlangen, darin besteht, einen aktiven Schritt zu unternehmen. Momentan arbeiten wir daran, das Modell um die Möglichkeit zu erweitern, „Frühwarnsignale“ über den Kipppunkt zu empfangen. Während diese Möglichkeit insgesamt vorteilhaft sein muss (die Akteure könnten sich ja jederzeit dazu ent-

schließen, die Frühwarnsignale zu ignorieren, womit sie in genau der gleichen Situation wie zuvor wären), könnten die Frühwarnsignale dazu führen, dass die Akteure mehr Risiko eingehen. Im obigen Beispiel der Fischerei haben die Akteure nämlich nun einen weiteren Anreiz, die sichere Fangmenge zu erhöhen (und den Kollaps zu riskieren): Sie können ihren Kenntnisstand erweitern.

Unser theoretisches Modell des Lernens ist zudem in der Hinsicht unrealistisch, dass der Kipppunkt sich im Laufe der Zeit nicht verändert. In anderen Worten: Es gibt im Modell kein Risiko, dass der Bestand aus anderen Gründen als aufgrund der Fangentscheidung der Akteure kollabiert. In der Realität spielt natürlich eine Vielzahl an stochastischen Prozessen eine Rolle. Viele Situationen sind durch unreduzierbares natürliches Risiko gekennzeichnet. Theoretisch hat ein solches Hintergrundrisiko keine Auswirkung auf die strategische Struktur der Entscheidungssituation. In der Realität hängen die Entscheidungen von Menschen aber von vielen psychologischen Faktoren ab, die in dem ökonomischen Modell des rationalen Akteurs nicht abgebildet sind. Im nächsten Teil werde ich deshalb die Resultate eines Verhaltensexperimentes vorstellen, das ich zusammen mit meinen Heidelberger Kollegen Timo Goeschl und Christian König-Kersting durchgeführt habe. Damit wollten wir untersuchen, ob sich das Verhalten in einer wiederholten Entscheidungssituation unterscheidet – je nachdem, ob ein schlechtes Ergebnis in einer ersten Situation durch das Verhalten der Teilnehmer oder durch das exogene Hintergrundrisiko verschuldet wurde.

### Natürliches und strategisches Risiko

Sogenannte Klimaskeptiker bezweifeln häufig, dass der Klimawandel menschlichem Verhalten zugeschrieben werden kann, und leiten daraus eine ablehnende Haltung gegenüber Klimaschutzmaßnahmen ab. Die Validität dieser Schlussfolgerung sei dahingestellt, aber diese Haltung zeigt auf jeden Fall auf, dass die Frage nach der kausalen Zuweisung einer Umweltveränderung, also die Frage, was eine Umweltveränderung in der Vergangenheit verursacht hat, durchaus politische Relevanz haben kann.

Wie das theoretische Modell oben, ist auch die Struktur unseres Experiments sehr einfach gehalten, damit wir den Aspekt der kausalen Zuweisung isolieren können. Eine Teilnehmerin in unserem Experiment steht zweimal vor der gleichen Entscheidung: Sie kann gleichzeitig mit und unbeobachtet von einem anonymen Mitspieler zwischen Option A und Option B wählen. Wenn die Teilnehmerin und ihr Mitspieler beide A wählen, bekommt jeder einen Dollar. Wenn die Teilnehmerin A wählt und ihr Mitspieler wählt B, so bekommt der Mitspieler 3 Dollar und sie 1 Dollar. Wenn sie hingegen Option B wählt und der Mitspieler wählt A, so bekommt die Teilnehmerin 3 Dollar und der Mitspieler 1 Dollar. Wählen beide B,



**PROF. DR. FLORIAN DIEKERT** kam 2016 als Juniorprofessor an das Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften der Universität Heidelberg. Dort leitet er eine Nachwuchsgruppe im Rahmen seines ERC-Starting-Grant-Projekts „NATCOOP“ („How nature affects cooperation in common pool resource systems“), das der Europäische Forschungsrat (ERC) mit rund 1,4 Millionen Euro fördert. Zuvor war er als Postdoktorand am Department of Economics der Universität Oslo (Norwegen), an der er auch im Jahr 2011 über dynamische Probleme des Fischereimanagements promoviert wurde. Weitere Auslandsaufenthalte führten ihn an die Columbia University in New York City (USA) und an die University of California in Santa Barbara (USA). Florian Diekert, zu dessen Forschungsschwerpunkten Umweltökonomie und die Spieltheorie gehören, ist Mitglied des Forschungszentrums für Umweltökonomik an der Universität Heidelberg.

Kontakt: [florian.diekert@awi.uni-heidelberg.de](mailto:florian.diekert@awi.uni-heidelberg.de)

TIPPING POINT

# COORDINATION AND COOPERATION

FLORIAN DIEKERT

Users of common pool resources must solve a cooperation problem: while it would be socially beneficial to limit resource use to a sustainable level, each user has an egoistic incentive to extract a little bit more, freeriding on the conservation efforts of others. In a first study, we investigate how future changes in the natural environment may affect the management of common pool resources. In a second study, we ask how past changes may affect behaviour.

Consider a resource that collapses once a critical value, or tipping point, is crossed. The threat of this drastic change may actually be beneficial because it changes the cooperation problem to a coordination problem. If all other users restrain themselves to avoid crossing the tipping point, a given resource user has no incentive to risk the collapse by extracting a bit more. Clearly, when all other resource users extract so much that the tipping point is crossed, the last resource user has no incentive to restrain extraction. The coordination problem is much easier to solve than a cooperation problem because each user has an incentive to conserve the resource conditional on the others doing so, too. This holds even when the exact value at which the natural system tips into an undesirable state is unknown: Whereas increasing extraction does not cause the resource to collapse for sure in this case, coordinating on limiting resource use to a level that is known to be safe may still be a Nash equilibrium.

Many real-world situations combine natural and strategic risk. We test whether behaviour in a repeated choice situation differs when an unfortunate outcome is due to natural uncertainty, or due to a misalignment of participants' choices. We find that behaviour indeed differs depending on whether the event can be attributed to past behaviour or to natural uncertainty. Policies that aim to minimise the risk of natural uncertainty may thus have different implications than those aiming to minimise strategic uncertainty. ●

PROF. DR FLORIAN DIEKERT joined the staff of Heidelberg University's Alfred Weber Institute for Economics in 2016 as a junior professor. He heads a junior research group in the context of his ERC Starting Grant project "NATCOOP" ("How nature affects cooperation in common pool resource systems"), which the European Research Council (ERC) is funding with a sum of roughly 1.4 million euros. Before coming to Heidelberg, Prof. Diekert worked as a postdoctoral researcher at the Department of Economics of the University of Oslo (Norway), where he earned his PhD in 2011 with a thesis on dynamic problems of fisheries management. Other stays abroad led him to Columbia University in New York City (USA) and the University of California in Santa Barbara (USA). Florian Diekert, whose research interests include environmental economics and game theory, is a member of the Research Centre for Environmental Economics at Heidelberg University.

Contact: [florian.diekert@awi.uni-heidelberg.de](mailto:florian.diekert@awi.uni-heidelberg.de)

**“The feedback between environmental change and human action can play an important role for managing commonly used resources.”**



bekommt niemand etwas. Hierin besteht das strategische Risiko: Jeder hat einen Anreiz, B zu wählen, aber nur, wenn der jeweils andere A wählt. Gleichzeitig steht die Entscheidung unter natürlichem Risiko, das in unserem Experiment durch das Ziehen eines Balls aus einer Urne repräsentiert wird: Ist der Ball grün, bekommen die Spieler ihre Auszahlung, ist der Ball rot, bekommen die Spieler kein Geld, unabhängig davon, ob sie A oder B gewählt haben.

Nach der ersten Entscheidung lernt die Teilnehmerin, ob sie Geld bekommen wird oder nicht. Insbesondere erfährt sie, wie das Ergebnis zustande gekommen ist. Falls ein Teilnehmer kein Geld bekommen sollte, kann er also genau zuweisen, ob die menschliche Entscheidung oder das natürliche Risiko Schuld daran trägt. Daraufhin wird die Entscheidungssituation mit einem neu zugewiesenen anonymen Mitspieler wiederholt.

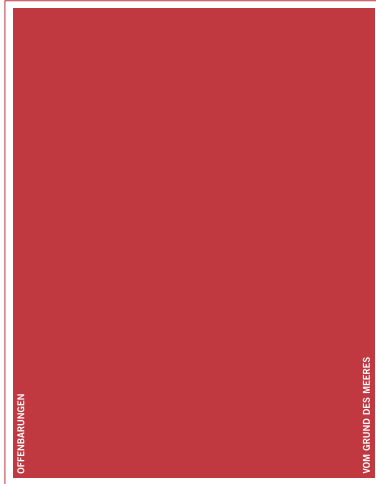
Da beide Entscheidungssituationen strukturell völlig identisch sind, sollte ein rationaler Akteur seine Entscheidung nicht verändern. In der Tat sehen wir, dass zwischen 70 und 80 Prozent der Teilnehmer ihre Entscheidung nicht verändern, unabhängig davon, ob sie einen positiven Auszahlungsbetrag bekamen oder nicht. Wenn wir uns aber diejenigen, die kein Geld bekommen, genauer anschauen, und die Teilnehmer, bei denen das Ergebnis eindeutig durch strategische Unsicherheit verschuldet wurde, mit den Teilnehmern vergleichen, bei denen das Ergebnis eindeutig durch natürliche Unsicherheit hervorgerufen wurde, dann sehen wir einen deutlichen Unterschied: Die Teilnehmer, die kein Geld bekommen, weil sowohl sie als auch ihr Mitspieler B gewählt haben, während ein grüner Ball gezogen wurde, wählen in der nächsten Entscheidung wesentlich häufiger die vorsichtige Aktion A, als die Spieler, die kein Geld bekamen, weil ein roter Ball gezogen wurde, während der Mitspieler in der ersten Entscheidung A wählte.

Die sterile Entscheidungssituation unseres Experiments erlaubt uns, die Hypothese zu testen, dass nicht nur die Konsequenz, sondern auch die Ursache eines Ereignisses einen Einfluss auf eine nachfolgende strategische Entscheidung unter Unsicherheit hat. Unser Beitrag zur Forschungsfront ist die saubere Dokumentation dieses Effektes. Die Erklärung des Mechanismus, der zu dem Ergebnis führt, wäre an dieser Stelle Spekulation. Um spezifische Erklärungen zu testen, müssen weitere Experimente entworfen werden. Fest steht jedoch, dass strategische und natürliche Unsicherheit sich nicht neutral zueinander verhalten. Bisherige Forschungsergebnisse aus Verhaltensexperimenten sollten also im Lichte dieses Ergebnisses interpretiert werden. Der Umstand, dass eine Umweltveränderung, die durch menschliche Entscheidungen verursacht wurde, eine andere Reaktion

**„Eine durch menschliche Entscheidungen verursachte Umweltveränderung ruft eine andere Reaktion hervor als eine Umweltveränderung, die durch natürliches Risiko verursacht wurde.“**

hervorrufen als eine Umweltveränderung, die durch natürliches Risiko verursacht wurde, bedeutet auch, dass theoretische Modelle das Zusammenspiel von strategischem und natürlichem Risiko explizit in Betracht ziehen sollten. Politikempfehlungen, die darauf abzielen, strategisches Risiko zu mindern, haben möglicherweise eine andere Wirkung als Politikempfehlungen, die darauf abzielen, natürliches Risiko zu mindern.

Zusammenfassend zeigt unsere Forschung, dass die Wechselwirkungen zwischen Umweltveränderungen und menschlichem Handeln eine wichtige Rolle für das Management gemeinschaftlich genutzter Ressourcen spielen können. Ein besseres Verständnis dieser Wechselwirkungen ist kein Luxus: Naturressourcen sind die Lebensgrundlage vieler Menschen – gerade in Entwicklungsländern. ●



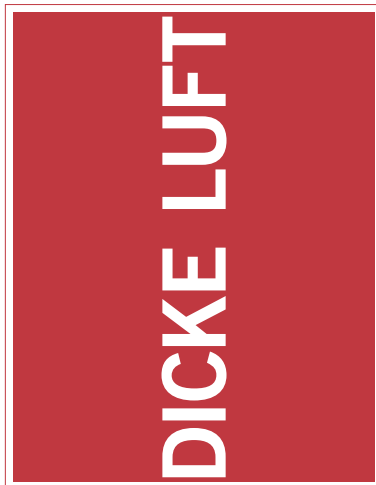
PALÄOUMWELTDYNAMIK  
**OFFENBARUNGEN VOM GRUND DES MEERES**  
DIE BÜCHER DER ERDGESCHICHTE  
JÖRG PROSS & OLIVER FRIEDRICH

**44**



NACHHALTIGKEITSFORSCHUNG  
**ZUSAMMEN WIRKEN**  
DIE GROSSE TRANSFORMATION  
NICOLE AESCHBACH & KATHRIN FOSHAG

**52**



SINOLOGIE  
**DICKE LUFT**  
CHINA IM UMWELTSTRESS  
ANJA D. SENZ

**62**



TRANSKULTURELLE STUDIEN  
**NACH DER KATASTROPHE**  
WARUM KULTURERBE DOKUMENTIERT WERDEN MUSS  
CHRISTIANE BROSIUS

**70**

# KAPITEL



OFFENBARUNGEN

VOM GRUND DES MEERES

OFFENBARUNGEN VOM GRUND DES MEERES

# DIE BÜCHER DER ERDGESCHICHTE

JÖRG PROSS &amp; OLIVER FRIEDRICH

**Wie haben Klima- und Umweltveränderungen die soziokulturelle Entwicklung in den früheren Phasen der Menschheitsgeschichte beeinflusst? Dieser Frage gehen Geowissenschaftler der Universität Heidelberg im Ägäischen Meer „auf den Grund“. Auf zwei internationalen Expeditionen mit einem deutschen Forschungsschiff bohren sie in unmittelbarer Nähe zu archäologischen Ausgrabungsstätten Sedimentkerne aus dem Meeresboden, die anschließend in Heidelberg analysiert werden. Diese Ablagerungen am Meeresgrund sind quasi Bücher der erdgeschichtlichen Vergangenheit, in denen die Umwelt- und Klimageschichte der vergangenen Jahrtausende gespeichert ist.**

# M

Mit lautem Klatschen schlägt die tonnenschwere Stahlsonde auf der Meeresoberfläche neben dem Forschungsschiff METEOR auf. Schon nach wenigen Sekunden ist sie durch die Wellen kaum noch zu sehen und auf ihrem Weg zum Meeresgrund in 1.200 Meter Tiefe verschwunden. Als die Sonde noch wenige Meter vom Meeresboden entfernt ist, stoppt die Winde, welche sie über ein Stahlseil mit dem Schiff verbunden hält. Nach Auslösen eines Mechanismus schlägt ein zehn Meter langes Stahlrohr nun frei fallend auf dem Meeresgrund ein und bohrt sich dort über seine ganze Länge hinweg ins Sediment. Vorsichtig-kraftvolles Ziehen mit der Winde bringt die Sonde samt ihrer Ladung aus dem Meeresboden wieder an Bord der METEOR, wo sie beim Öffnen einen Bohrkern freigibt, der weiter untersucht werden kann.

Was sich auf den ersten Blick wie untermeerischer Tiefbau anhört, ist in Wirklichkeit der Weg dazu, ungewöhnliche Umwelt- und Klimaarchive der Vergangenheit zu erhalten. Die so erbohrten Sedimentkerne sind quasi Bücher der erdgeschichtlichen Vergangenheit, in denen für diejenigen, die sie lesen können, die Umwelt- und Klimageschichte der vergangenen Jahrtausende gespeichert ist. Sobald die Bohrkern genau datiert worden sind und man dadurch weiß, wann die einzelnen dort enthaltenen Schichten abgelagert wurden, erschließt sich den kundigen Lesern, welche Umwelt- und Klimabedingungen zum Zeitpunkt der Ablagerung geherrscht haben.

## Die Wiege der abendländischen Kultur

Im Januar 2018 brachen Geowissenschaftler der Universität Heidelberg von Heraklion auf der Insel Kreta startend mit dem deutschen Forschungsschiff METEOR auf, um Sedimentkerne aus dem Grund des Ägäischen Meeres zu bergen. Im Gegensatz zu früheren Schiffsexpeditionen in das östliche Mittelmeer ging es ihnen aber nicht darum, Bohrkern zu gewinnen, die möglichst weit in die erdgeschichtliche Vergangenheit zurückreichen. Ihr Ziel war es vielmehr, Kerne zu bergen, die auf ihren rund zehn Metern Länge gerade einmal die vergangenen 10.000 Jahre umfassen. Was zunächst etwas absurd klingen mag, hat nämlich einen gewaltigen Vorteil, wenn man explizit auf diese letzten 10.000 Jahre fokussieren will: Dort, wo die Kerne erbohrt wurden, lagerte sich pro

Zeiteinheit besonders viel Sediment ab – was heißt, dass man die Kerne in zeitlich besonders hoher Auflösung untersuchen kann.

Ziel der Heidelberger Wissenschaftler war es, Sedimentarchive aus verschiedenen Bereichen des Ägäisraums zu gewinnen, die zeitlich extrem hochauflösende Umwelt- und Klimarekonstruktionen erlauben. Diese wollen sie mit den einzigartigen prähistorischen und historischen Befunden aus der Region vergleichen, die schon seit den Zeiten Heinrich Schliemanns als Wiege der abendländischen Kultur gilt. Zusammenhänge zwischen Klima- und Umweltwandel auf der einen Seite und sozioökonomischen und soziokulturellen Umbrüchen der Menschheitsgeschichte auf der anderen Seite wurden von verschiedenen Forschern immer wieder postuliert, sind aber bis heute meist nur unzureichend belegt. So wurde der Beginn der „Neolithischen Revolution“ – der Übergang vom mobilen Leben als Jäger und Sammler zum sesshaften Leben als Bauer, was einer der wichtigsten Umbrüche in der Geschichte der Menschheit war – im Ägäisraum ab circa 9.000 Jahren vor heute mit einer kurzfristigen Klimaverschlechterung in Verbindung gebracht. Auch das Ende der frühen Bronzezeit in Griechenland vor rund 4.200 Jahren wurde in einen Zusammenhang mit kurzfristigem Klimawandel gestellt, ebenso wie der soziokulturelle Wandel vor etwa 3.200 Jahren, als die mykenische Kultur in Griechenland und das hethitische Großreich in Kleinasien zusammenbrachen.

### **Einzigartige Voraussetzungen**

Die unklare Situation, ob und wie stark das Klima die soziokulturelle Entwicklung während früherer Phasen der Menschheitsgeschichte beeinflusste, ist maßgeblich der Tatsache geschuldet, dass für die betreffenden Regionen bis heute zu wenige zeitlich hochauflösende, präzise datierte Klimainformationen vorliegen, die sich mit den archäologischen beziehungsweise historischen Befunden vergleichen lassen. Um diese Limitierung zu umgehen, haben Wissenschaftler bisher immer wieder auf die Klimadaten aus grönländischen Eisbohrkernen zurückgegriffen, die dann mit sozioökonomischen Umbrüchen etwa im Mittelmeerraum verglichen wurden. Dieser Ansatz kann aber keine jahreszeitlich spezifischen Klimainformationen bereitstellen und erlaubt per se keine Aussagen über lokale Veränderungen einzelner Klimaparameter wie etwa der Temperatur oder des Niederschlags. Mit anderen Worten: Wie aussagekräftig eine Klimakurve aus Grönland auch sein mag – sie sagt wenig über das Regionalklima in verschiedenen Bereichen der Ägäis aus und erlaubt insbesondere keine Aussagen darüber, welche Klimaparameter sich dort überhaupt verändert haben könnten. Informationen zur Charakteristik, Amplitude und regionalen Differenzierung von Klimaveränderungen und dadurch ausgelösten Ökosystemver-



**PROF. DR. JÖRG PROSS** leitet die Forschungsgruppe „Palynologie und Paläoumweltdynamik“ des Instituts für Geowissenschaften der Universität Heidelberg. Nach dem Studium der Geologie/Paläontologie in Stuttgart und Tübingen sowie an der University of Oregon (USA) wurde er in Tübingen promoviert, wo er sich auch habilitierte. Nach einem Jahr als „Visiting Senior Researcher“ an der Universität Utrecht (Niederlande) wurde er im Jahr 2004 Professor für Mikropaläontologie und Paläozoogeographie an der Universität Frankfurt am Main. 2013 nahm er einen Ruf nach Heidelberg an. Längere Auslandsaufenthalte führten ihn an mehrere US-amerikanische Universitäten wie die Columbia University und zuletzt die University of Utah. Von 2017 bis 2019 war Jörg Pross Dekan der Fakultät für Chemie und Geowissenschaften.

**Kontakt:** Joerg.Pross@geow.uni-heidelberg.de

änderungen sind jedoch essenziell, um potenzielle kausale Beziehungen zwischen Klimawandel und sozioökonomischen Umbrüchen innerhalb einer Region identifizieren zu können. Vor diesem Hintergrund sind Klima- und Umweltarchive nötig, die eine Reihe von Anforderungen erfüllen müssen: Sie sollten über das gesamte Holozän – also die vergangenen 11.500 Jahre – zeitlich hochauflösende, jahreszeitenspezifische Informationen zur Klima- und Ökosystemdynamik liefern können und sich präzise datieren lassen, um möglichst genaue Korrelationen zwischen einzelnen Archiven zu erlauben. Um den regional unterschiedlichen Ausprägungen von Klimaveränderungen gerecht zu werden, sollten sie weiterhin über das gesamte Untersuchungsgebiet strategisch verteilt und dabei möglichst nahe an archäologischen Fundstellen gelegen sein.

Archive, die diese Voraussetzungen erfüllen, sind in einzigartiger Weise in einigen küstennahen Bereichen der Ägäis vorhanden, wurden aber bisher kaum genutzt. Schon zwei Jahre, bevor das Forschungsschiff METEOR am Abend des 27. Dezember 2017 mit 15 Heidelberger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern an Bord aus dem Hafen von Heraklion auslief, hatte man auf der Basis von Seekarten und den Ergebnissen früherer Forschungsfahrten begonnen, systematisch nach solchen besonderen Bereichen zu fahnden. Schon bald wurde klar, dass sich diese penible Vorbereitung mehr als gelohnt hatte: Mit insgesamt fast zehn Tonnen an Kernmaterial von fünf Bohrlokationen in der nördlichen Ägäis lief die METEOR nach vier Wochen auf See in den Hafen von Catania auf Sizilien ein. Von dort traten die Kerne gekühlt den Transport nach Heidelberg an, wo sie im Institut für Geowissenschaften analysiert, beprobt und für künftige Untersuchungen in Kühlzellen gelagert werden.

### **Enger interdisziplinärer Austausch**

Dabei war den Heidelberger Geowissenschaftlern von Beginn an klar, dass eine zeitliche Koinzidenz zwischen klimatischen Veränderungen, denen sie nachspüren wollten, und archäologisch dokumentierten Veränderungen im Ägäisraum noch lange keinen kausalen Zusammenhang bedeuten würde. Ein tieferes Verständnis möglicher Verknüpfungen würde nur ein enger interdisziplinärer Austausch mit Fachkollegen aus der Archäologie gewährleisten. Deshalb waren von Beginn an mit Joseph Maran vom Institut für Ur- und Frühgeschichte sowie Diamantis Panagiotopoulos vom Institut für Klassische Archäologie zwei Archäologen der Universität Heidelberg an den Planungen beteiligt. Die Heidelberger Expedition in die Ägäis sorgte so für ein Novum in der mehr als 30-jährigen Einsatzgeschichte der METEOR: Neben den an Bord üblicherweise aktiven Naturwissenschaftlern waren erstmalig auch Geisteswissenschaftler Teil des Teams.



# „Die ersten Resultate zeigen, welches enorme Potenzial in den Bohrkernen vom Meeresgrund der Ägäis steckt.“

Zurück in Heidelberg stand nach einer genauen Beschreibung zunächst das Abtasten der Bohrkern-Oberflächen mit einem Röntgenfluoreszenz-Kernscanner an, um ihren Gehalt an Elementen von Magnesium bis Uran zu bestimmen. Da deren Gehalte wichtige Hinweise auf die Umweltbedingungen zur Zeit ihrer Ablagerung erlauben, ist dieses zerstörungsfreie Analyseverfahren aus der modernen Umwelt- und Klimaforschung nicht mehr wegzudenken. Danach rückte die Altersdatierung der Kerne in den Vordergrund – eine Grundvoraussetzung für alle weiteren Arbeiten mit dem Kernmaterial. Neben der üblichen Radiokohlenstoff-Datierung, bei der das Alter des organischen

Materials über seinen Gehalt am radiogenen Isotop des Kohlenstoffs ermittelt wird, ergab sich für die Kerne aus der Ägäis eine nicht alltägliche Möglichkeit der Altersbestimmung: die Untersuchung von Aschepartikeln aus Vulkanausbrüchen.

Der Mittelmeerraum ist durch eine ganze Reihe hochexplosiver Vulkane gekennzeichnet – zum einen etwa der Vesuv oder die Phlegräischen Felder in Italien, zum anderen die Vulkane der Ägäis. Das wahrscheinlich bekannteste Beispiel für Letztere ist die Insel Santorin, die über die vergangenen 350.000 Jahre der Ursprung von sechs

### Expeditionen in die Ägäis

Unter Einbindung amerikanischer und griechischer Kollegen führen Heidelberger Geowissenschaftler zwei Expeditionen in die Ägäis durch, um in unmittelbarer Nähe archäologischer Ausgrabungsstätten Sedimentkerne aus dem Meeresboden zu erbohren. Die erste dreiwöchige Expedition mit dem deutschen Forschungsschiff METEOR fand im Januar 2018 statt, die zweite ist für Oktober 2020 geplant. Beide Expeditionen werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert. Die bisherigen Auswertungen wurden durch den FRONTIER-Innovationsfonds und eine Gastprofessur zur Verstärkung des internationalen Austausches im Rahmen der Exzellenzinitiative der Universität Heidelberg sowie durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

Ausbruchsphasen war: ihre spektakulärste Eruption war sicherlich die sogenannte „Minoische Explosion“ vor rund 3.600 Jahren, die als stärkste der jüngeren Geschichte gilt und den Großteil der Insel zerstörte. Die Aschewolken derartiger Explosionen können durch Winde innerhalb weniger Tage über große Entfernungen verdriftet werden. Wenn ihre teils mikroskopisch kleinen Partikel wieder aus der Atmosphäre absinken und auf dem Meeresgrund abgelagert werden, werden sie zu einmaligen zeitlichen Markern, die eine fast tagesgenaue Korrelation zwischen verschiedenen Sedimentarchiven über Tausende von Kilometern hinweg erlauben. Die bisherigen Untersuchungen an den Ägäis-Kernen ergaben, dass sie Aschepartikel nicht nur aus ägäischen, sondern auch aus italienischen Vulkanaschbrüchen enthalten. Für eine möglichst präzise Datierung der Kerne bedeutet ein derart häufiges Auftreten von Aschepartikeln einen seltenen Glücksfall.

### Zentrale Rolle von Pollen und Biomarkern

Mit der hochauflösenden Entnahme diskreter Proben entlang der Kerne begannen die wohl arbeitsintensivsten und langwierigsten Untersuchungen am Kernmaterial: die Rekonstruktion der Umwelt- und Klimaverhältnisse für die Küstenregionen rund um das Ägäische Meer. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Untersuchung von Pollen und Biomarkern – organische Moleküle, die für bestimmte Organismen typisch sind – der Landvegetation, die vor allem über Flüsse in die Ägäis eingetragen und dort vor den Flussmündungen abgelagert wurden. Pollen ermöglichen es, detailliert zu rekonstruieren, wie sich die Vegetation einst im Einzugsgebiet der Flüsse zusammensetzte und wie sie sich im Laufe der Zeit veränderte. Da dies unmittelbar die jeweils herrschenden Klimaverhältnisse und den menschlichen Einfluss widerspiegelt, können die Umweltbedingungen direkt für diejenigen Regionen und

Zeiten rekonstruiert werden, für die archäologische Befunde soziokulturelle Umbrüche anzeigen.

Die Klärung der Frage, in welchem Ausmaß frühe Kulturen ihre Umwelt verändert haben, soll dabei aber nicht auf das Festland begrenzt sein – vielmehr sollen die Bohrkern aus der Ägäis auch die Frage beantworten, inwiefern diese frühen Kulturen die marinen Ökosysteme im küstennahen Raum beeinflusst haben. Die bisher frühesten Belege für eine Überfischung in küstennahen Bereichen des Mittelmeers datieren in die Zeit des Römischen Reiches, als etwa das Nachtfischen mit Fackeln verboten wurde, da es „zu viele Fische entfernte“. Inwiefern es möglich war, mit den Fangtechniken früher Kulturen marine Ökosysteme zu überfischen, ist für die präromische Zeit bislang nicht bekannt. Dieser Frage soll mit einem neu entwickelten Ansatz nachgegangen werden, der ehemalige Fischpopulationen anhand mikroskopisch kleiner Fischzähnen und -schuppen rekonstruiert, wie sie auch in Bohrkernen in genügender Zahl vorkommen. Er beruht auf einer Datenbank mit Mikroresten der meisten im Mittelmeer vorkommenden Fischarten, die von Richard Norris von der Scripps Institution of Oceanography in San Diego (USA) im Rahmen einer Gastprofessur zur Verstärkung des internationalen Austausches an der Universität Heidelberg aufgebaut wurde und ständig aktualisiert wird.

### Drastische Veränderungen

Welche Ergebnisse ließen sich bisher aus den Bohrkernen vom Meeresgrund der Ägäis extrahieren? Auch wenn die Auswertung noch einige Jahre in Anspruch nehmen wird, zeigen die ersten Resultate doch, welch enormes Potenzial in den Kernen steckt. So weisen die bisher vorliegenden Daten darauf hin, dass sich die marine Nahrungskette im östlichen Mittelmeer über die vergangenen 10.000 Jahre drastisch verändert hat: Bis vor rund 6.000 Jahren lebten in der Ägäis wesentlich mehr Fische als heute, und die Fischpopulationen waren von Fliegenden Fischen, Makrelen und Thunfischen dominiert und damit völlig anders zusammengesetzt als heute. Die Ursache für den damaligen Fischreichtum und die abweichende Faunenzusammensetzung liegt in zyklischen Klimaänderungen. Durch diese fließt in Abständen von etwa 20.000 Jahren verstärkt Süßwasser von den umliegenden Landmassen ins Mittelmeer und trägt dort nicht nur viel mehr Nährstoffe als unter Normalbedingungen ein, sondern verhindert auch die Durchlüftung der Wassersäule. Als Folge nimmt am Meeresboden der Sauerstoffgehalt ab, so dass sich dort Faulschlämme – sogenannte Sapropel – ablagern. In der obersten Wassersäule bewirkt das erhöhte Nährstoffangebot eine tief greifende Umstrukturierung der marinen Nahrungskette: Das Mehr an Nährstoffen für die Primärproduzenten an der Basis der Nahrungskette paust sich bis an deren Spitze durch und manifestiert sich dort durch eine Zunahme räuberischer Schwarmfische wie Makrelen und schließlich Thunfische.



**PROF. DR. OLIVER FRIEDRICH** leitet seit dem Jahr 2014 die Forschungsgruppe „Sedimentologie und marine Paläoumweltdynamik“ des Instituts für Geowissenschaften der Universität Heidelberg. Nach seiner Promotion an der Universität Tübingen war er von 2003 bis 2009 Postdoktorand an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover, der Scripps Institution of Oceanography in San Diego (USA) und dem National Oceanography Centre Southampton (Großbritannien). Ab 2009 leitete er eine Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe an der Universität Frankfurt am Main, bevor er 2013 zum Professor für Geologie an die Universität Heidelberg berufen wurde. Oliver Friedrich forscht und lehrt zum Klimawandel während der vergangenen 150 Millionen Jahre der Erdgeschichte und dessen Auswirkungen auf marine Ökosysteme.

Kontakt: [oliver.friedrich@geow.uni-heidelberg.de](mailto:oliver.friedrich@geow.uni-heidelberg.de)

THE BOOKS OF EARTH HISTORY

# REVELATIONS FROM THE BOTTOM OF THE SEA

JÖRG PROSS &amp; OLIVER FRIEDRICH

How did climatic and environmental change influence socio-cultural development in early human history? Geoscientists at Heidelberg University aim to “get to the bottom” of this question: Together with colleagues from the USA and Greece, they organised two expeditions with the German research vessel “METEOR” to retrieve sediment cores from the floor of the Aegean Sea in the immediate vicinity of archaeological excavation sites. The recovered sediments have recorded not only changes in the water column of the Aegean Sea, but also the climatic and environmental dynamics of nearby coastal regions over the past thousands of years.

The history of the eastern Mediterranean region is characterised by a number of marked socio-economic and socio-cultural disruptions whose causes are still not well understood. Using sediment cores from the seafloor, the scientists from Heidelberg reconstruct the region’s climate and ecosystem dynamics during the past 10,000 years – with the goal of combining their data with the unique (pre) historical finds of archaeologists working in the region. Ultimately, they aim to decipher to what extent climatic change may have been involved in archaeologically documented disruptions – and in turn reconstruct how early cultures have modified their environment. But before they can tap the previously unused potential of these unique climate and environmental archives, the scientists must first deploy sophisticated logistics, find their sea legs and put in a great deal of hard work aboard their research ship. ●

PROF. DR JÖRG PROSS heads the research group “Palynology and Palaeoenvironmental Dynamics” at the Institute of Earth Sciences of Heidelberg University. He studied geology/palaeontology in Stuttgart and Tübingen and at the University of Oregon (USA) and earned his PhD and his teaching credentials at the University of Tübingen. After a year as “Visiting Senior Researcher” at Utrecht University (Netherlands), he accepted the Chair of Micropalaeontology and Palaeoceanography at the University of Frankfurt/Main in 2004. In 2013 he transferred to Heidelberg. He has completed extensive stays at several U.S. universities, among them Columbia University and the University of Utah. From 2017 to 2019 Jörg Pross was Dean of the Faculty of Chemistry and Earth Sciences.

Contact: Joerg.Pross@  
geow.uni-heidelberg.de

PROF. DR OLIVER FRIEDRICH has been heading the research group “Sedimentology and Marine Palaeoenvironmental Dynamics” at Heidelberg University’s Institute of Earth Sciences since 2014. After earning his PhD at the University of Tübingen in 2003, he spent the next six years working as a postdoctoral researcher at the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) in Hannover, the Scripps Institution of Oceanography in San Diego (USA) and the National Oceanography Centre Southampton (UK). From 2009 on, he headed an Emmy Noether junior research group at the University of Frankfurt/Main, before accepting the Chair of Geology at Heidelberg University in 2013. Oliver Friedrich’s research and teaching focus is climate change during the past 150 million years of earth history and its impact on marine ecosystems.

Contact: oliver.friedrich@  
geow.uni-heidelberg.de

**“Current data indicate that the marine food chain in the Eastern Mediterranean has changed drastically over the last 10,000 years.”**

# „Gerade vor dem Hintergrund des anthropogenen Klimawandels können die Bohrkerne aus der Ägäis dabei helfen, zu entschlüsseln, wie sich frühere Klimaänderungen auf die Menschheit auswirkten und umgekehrt bereits frühe Kulturen ihre Umwelt veränderten.“

Erste Ergebnisse liegen auch für die jüngeren Abschnitte der Bohrkerne vor. Vor allem die Kerne von der griechischen Ägäisküste zeigen ab 2.700 Jahren vor heute eine drastische Zunahme ihres Gehalts an Blei, der 2.500 Jahre vor heute seinen Höhepunkt erreicht; die Pollendaten lassen erkennen, dass gleichzeitig die Bewaldung im direkten Hinterland auf den geringsten Wert der vergangenen 10.000 Jahre zurückging. Anhand der Verhältnisse der verschiedenen Bleisotopen in den Kernen lässt sich rekonstruieren, dass die stärkste Zunahme der Bleikonzentration der Ausbeutung der Silberminen von Laurion geschuldet ist, die maßgeblich zum Reichtum und Aufstieg Athens beigetragen haben. Der Rückgang der Bewaldung spiegelt dabei den extremen Holzbedarf bei der Erzverhüttung wider, der zur weitgehenden Rodung der ursprünglich walddreichen Region führte.

#### **Spannende Antworten auf eine komplexe Frage**

Auch wenn sich die Auswertung noch in einem frühen Stadium befindet, zeichnet sich bereits ab, dass der gewählte Forschungsansatz eine Vielzahl neuer Ergebnisse zu der Frage liefern kann, wie sich frühere Klimaände-

rungen auf die Menschheit auswirkten und umgekehrt frühe Kulturen ihre Umwelt veränderten. Deshalb wurde dem Heidelberger Team eine zweite Expedition mit dem Forschungsschiff METEOR bewilligt, die im Oktober 2020 ein zweites Mal ins östliche Mittelmeer führen wird – dieses Mal, um Kerne aus der Südägäis und hier insbesondere um die Peloponnes-Halbinsel zu bergen. Gerade vor dem Hintergrund des anthropogenen Klimawandels können diese Kerne dabei helfen, zu entschlüsseln, wie sich frühere Klimaänderungen auf die Menschheit auswirkten und umgekehrt bereits frühe Kulturen ihre Umwelt veränderten – sicherlich eines der spannendsten Themen an der Schnittstelle von Natur- und Geisteswissenschaften. Der intensive Dialog unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen – in diesem Fall der Geowissenschaften und der Archäologie – ist eine zentrale Voraussetzung, um Zusammenhänge zwischen Klimaereignissen und sozioökonomischen Umbrüchen aufzudecken und die ihnen zugrunde liegenden Prozesse zu verstehen. Die laufenden Forschungen im Ägäisraum können dazu beitragen, diesen Dialog an der Universität Heidelberg und darüber hinaus weiter zu intensivieren. ●

**ZUSAMMEN**

**WIRKEN**



ZUSAMMEN WIRKEN

# DIE GROSSE TRANSFORMATION

NICOLE AESCHBACH & KATHRIN FOSHAG



**DR. NICOLE AESCHBACH** leitet das im Jahr 2018 gegründete „TdLab Geographie“ am Geographischen Institut der Universität Heidelberg mit dem Forschungsschwerpunkt „Geographien des Klimawandels“. Darüber hinaus arbeitet sie freiberuflich für die Mobilitätsplattform der ETH Zürich (Schweiz). Von 2011 bis Anfang 2017 war sie als Geschäftsführerin des Heidelberg Center for the Environment (HCE) tätig, im Jahr 2017 als Departementskoordinatorin an der ETH Zürich.

Kontakt: [nicole.aeschbach@uni-heidelberg.de](mailto:nicole.aeschbach@uni-heidelberg.de)

**Der sogenannte Erdüberlastungstag fiel im Jahr 2019 im globalen Schnitt auf den 29. Juli, in Deutschland sogar auf den 3. Mai – das bedeutet, dass die Menschheit zurzeit die Ressourcen von 1,75 Erden beansprucht. Die Natur ist nachweislich unter Druck geraten, und zwar nicht vereinzelt und lokal, sondern weltweit. Wie schaffen wir es, unsere Lebensgrundlage mit einer nachhaltigen Entwicklung zu sichern? Im „TdLab Geographie“ der Universität Heidelberg entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gemeinsam mit Partnern aus Unternehmen, Behörden, der Politik und der Zivilgesellschaft Lösungen für ganz konkrete Fragen – beispielsweise zu nachhaltigem Tourismus oder Anpassung an den Klimawandel in Städten.**



**DR. KATHRIN FOSHAG** hat Geographie an der Universität Heidelberg studiert und beendete das Studium mit dem Master of Science. Ende 2018 schloss sie ihre Promotion im Bereich Klimawandelanpassung, transdisziplinäre Arbeitsweisen sowie Forschendes Lernen ab. Derzeit ist sie Postdoc-Wissenschaftlerin am Institut für Umweltphysik und am „TdLab Geographie“ des Geographischen Instituts an der Universität Heidelberg.

Kontakt: [kathrin.leutz@iup.uni-heidelberg.de](mailto:kathrin.leutz@iup.uni-heidelberg.de)

D

**„Die kommenden Jahre werden entscheidend sein für die Rettung des Planeten und für eine nachhaltige, alle Menschen einbeziehende Entwicklung.“**

**António Guterres, Generalsekretär der Vereinten Nationen**

Wer durch die Broschüren blättert, mit denen die Vereinten Nationen die „Sustainable Development Goals“ vorstellen, spürt Aufbruchstimmung. In den insgesamt 17 nachhaltigen Entwicklungszielen geht es darum, das Klima zu schützen, die Ökosysteme auf dem Land und in den Ozeanen zu bewahren, die Ernährung sicherzustellen und generelle Ungleichheiten zu verringern. Das sind hehre Ziele – in der Realität erreichen uns jedoch Schreckensbilder, die von der Zerstörung der Umwelt, der Ausbeutung von Ressourcen und Ungerechtigkeit erzählen. Der Einfluss des Menschen auf die Umwelt hat sich in den vergangenen Jahrzehnten massiv verstärkt und mittlerweile ein derartiges Ausmaß erreicht, dass Geologen mit dem „Anthropozän“ ein nach dem Menschen benanntes neues Erdzeitalter einführen wollen.

Mit zahlreichen Konzepten wie den „Planetaren Grenzen“ oder dem „Ökologischen Fußabdruck“ versucht die Forschung, die gestörte Balance von Ressourcenangebot und Ressourcennutzung zu beschreiben, zu quantifizieren und zu bewerten. Der „Earth Overshoot Day“ etwa steht für den Tag, an dem das Jahresbudget an nachwachsenden Rohstoffen und die Kapazitäten zur Regeneration erschöpft sind. Im Jahr 2019 fiel der „Erdüberlastungstag“ im globalen Schnitt auf den 29. Juli, in Deutschland sogar auf den 3. Mai. Das bedeutet, dass die Menschheit die Ressourcen von 1,75 Erden beansprucht. Die Natur ist nachweislich unter Druck geraten – und das nicht vereinzelt und lokal, sondern weltweit. Diese Bestandsaufnahme wirft zwei Fragen auf: Warum sind nicht längst wirkungsvolle Ansätze gefunden, um die Probleme zu bewältigen? Und was tun Politik, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und – nicht zuletzt – die Wissenschaft, um unsere Lebensgrundlage durch eine nachhaltige Entwicklung zu sichern?

#### Zukunftskunst

Die Spuren von Nachhaltigkeitskonzepten führen zurück ins 18. Jahrhundert. Hans Carl von Carlowitz (1645 bis 1714) postulierte in seiner Schrift „Sylvicultura oeconomica“, dass eine erfolgreiche Forstwirtschaft nur dann gelingen kann, wenn es eine beständige und nachhaltige Nutzung gibt. Der aktuelle Nachhaltigkeitsbegriff ist weiter gefasst. Die im Brundtland-Bericht der Vereinten Nationen unter der Überschrift „Unsere gemeinsame

Zukunft“ („Our common future“) im Jahr 1987 vorgeschlagene Definition gilt hier als Meilenstein: „Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“ Dieses Verständnis bildet die Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung, die auf den Säulen Ökologie, Ökonomie und Soziales fußt, und ist damit auch Basis für die im Jahr 1992 bei der UN-Konferenz in Rio de Janeiro verabschiedete „Agenda 21“. Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, kurz WBGU, skizziert in seinem Gutachten „Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“ aus dem Jahr 2011, wie ein solcher „Vertrag“ helfen kann, die natürlichen Lebensgrundlagen zu erhalten – sowohl in der Gegenwart als auch in der Zukunft. Uwe Schneidewind, Präsident des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie und Mitglied im WBGU, spricht in seinem im Jahr 2018 erschienenen Buch „Die Große Transformation“ von „Zukunftskunst“ und meint damit eine Kompetenz, die technologische, ökonomische, politisch-institutionelle und kulturelle Dimensionen einbezieht, um eine nachhaltige Entwicklung zu gestalten.

Viele Handlungsfelder im Kontext von Umwelt und Nachhaltigkeit gehören zu den „großen gesellschaftlichen Herausforderungen“, die auch in der Forschungsförderung eine zunehmend große Rolle spielen. Im Jahr 2015 etwa befasste sich der Wissenschaftsrat in seinem Positionspapier „Zum wissenschaftspolitischen Diskurs über große gesellschaftliche Herausforderungen“ mit diesen „vertrackten Problemen“ („wicked problems“), die stets von hoher Komplexität sind, in der Regel viele Akteure betreffen und bei deren Bearbeitung häufig Zielkonflikte auftreten. Entscheidend aus Sicht der Wissenschaft ist, dass gesellschaftliche Probleme zu wissenschaftlichen Fragen werden. Das ist Chance und Risiko zugleich: Die Wissenschaft übernimmt gesellschaftliche Verantwortung und stellt sich relevanten Themen der „Lebenswelt“. Sie muss dabei aber ihre Unabhängigkeit behalten.

Darüber hinaus sind auf der Basis disziplinärer Grundlagen- und Anwendungsforschung nicht nur interdisziplinäre Ansätze, sondern „transdisziplinäre Settings“ erforderlich: Die Forschung bezieht dann nicht nur die Wissensbestände und Perspektiven der akademischen Welt, sondern auch die von Stakeholdern ein. Je nach Fragestellung handelt es sich bei den Stakeholdern um Akteure aus Behörden, Politik und Wirtschaft oder aus der Zivilgesellschaft. Auf transdisziplinäre Weise wird nicht nur Systemwissen produziert, sondern auch Ziel- und Transformationswissen: Wissen, das dazu befähigt, gesellschaftliche Änderungen herbeizuführen. Transdisziplinarität geht somit weit über den Transfer von Wissenschaft in Richtung Gesellschaft in einer „Einbahnstraße“ hinaus. Stattdessen wirken akademische

#### Gemeinsam Lösungen finden: Das „TdLab Geographie“

Transdisziplinarität (Td) steht im Mittelpunkt des am Geographischen Institut der Universität Heidelberg angesiedelten „TdLab Geographie“, das im Sommer 2018 unter der Leitung von Dr. Nicole Aeschbach seine Arbeit aufnahm. Ziel ist es, die bisher vor allem sozialwissenschaftlich geprägte transdisziplinäre Arbeitsweise in den Bereichen Physische Geographie und Geoinformatik sowie verwandten Arbeitsgebieten anzuwenden. Prägend für das Konzept ist die Einbindung von Partnern aus Unternehmen, Behörden, der Politik und der Zivilgesellschaft, um gemeinsam Lösungen für komplexe reale Herausforderungen zu finden. Alle beteiligten Partner bringen ihre eigenen Wissensbestände und Perspektiven ein und entwickeln zusammen Analysen, Konzepte und Lösungsansätze. Die Ergebnisse aus den Projekten fließen im Idealfall sowohl in die Forschung als auch in die Praxis ein, sie reichen daher von der Methoden(weiter)entwicklung bis zur Erarbeitung von Handlungsempfehlungen. Den Themenschwerpunkt des TdLab bildet der Bereich „Geographien des Klimawandels“.

[www.geog.uni-heidelberg.de/institut/tdlab.html](http://www.geog.uni-heidelberg.de/institut/tdlab.html)

und außerakademische Akteure auf Augenhöhe zusammen, fachsprachlich „Co-Design“ genannt: Partizipative Forschung trägt einerseits zum Gewinn von Erkenntnis und zur Entwicklung von Methoden in der Grundlagenforschung bei – auf der anderen Seite profitieren die beteiligten Stakeholder von wissenschaftlich fundierten Lösungsansätzen, die in ihre praktische Arbeit einfließen.

#### **Das Heidelberger „TdLab Geographie“**

Am Geographischen Institut der Universität Heidelberg haben wir im Sommer 2018 das „TdLab Geographie“ gegründet. „Td“ steht für Transdisziplinarität. Interdisziplinarität ist in der „DNA“ des Fachs Geographie verankert, in vielen geographischen Forschungsvorhaben spielen Praxispartner bereits eine Rolle. Im transdisziplinären TdLab wenden wir Methoden aus unterschiedlichen Wissenschaftskulturen an und entwickeln innovative Ansätze für die Forschung und Lehre. Es geht darum, die bisher primär sozialwissenschaftlich geprägte Td-Arbeitsweise auf die Physische Geographie, die Geoinformatik und verwandte Gebiete zu übertragen. Ein Schwerpunkt der Arbeiten sind „Geographien des Klimawandels“.

Ein Beispiel sind unsere Forschungsarbeiten zum Thema Klimawandeladaptation und nachhaltige Stadtentwicklung. Ziel eines Dissertationsprojektes an der Heidelberg School of Education war es, Lösungen zu finden, wie städtische Plätze in Heidelberg unter zunehmender Hitzebelastung nutzbar gehalten werden können. Lokale Interessengruppen sind dabei unverzichtbare Partner: Nur mit ihnen gemeinsam können Anpassungsmaßnahmen erfolgreich entwickelt und umgesetzt werden. In der Heidelberger Fallstudie wurde in transdisziplinärer Weise die Expertise öffentlicher Institutionen wie des Amtes für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie Heidelberg sowie des Stadtplanungsamtes integriert, die Zivilgesellschaft wurde über Befragungen und das verständliche Vermitteln der wissenschaftlichen Ergebnisse eingebunden.

Eine wichtige Rolle bei der Anpassung von Städten an den Klimawandel spielt die „blau-grüne Infrastruktur“: Im Zuge von Verstädterung und Nachverdichtung – und dem damit einhergehenden Flächendruck – werden immer häufiger Dächer und Fassaden begrünt, weil traditionell für Bauten verwendete Materialien und Oberflächenstrukturen für das Stadtklima nachteilige Absorptions- und Reflexionseigenschaften haben. Ergänzend bietet der urbane Wasserkreislauf eine Reihe von Möglichkeiten, um das Stadtklima zu verbessern. In den vergangenen Jahrzehnten hat hier in der Stadtplanung ein Umdenken stattgefunden: vom schnellen, unsichtbaren und unterirdischen Abfluss von Wasser hin zu Versickerung und Verdunstung durch verzögerte oberirdische Speicherung, Rückhaltung und das Wiederverwerten von Niederschlag. Durch Investitionen in solche Räume beziehungsweise Systeme und die Gestaltung

einer blau-grünen Infrastruktur können „Ökosystemdienstleistungen“ ihre Wirkung deutlicher entfalten.

Ökosystemdienstleistungen sind Produkte und Leistungen der Natur, die dem Menschen direkt oder indirekt nutzen. Neben Basisdienstleistungen wie dem Bereitstellen von Trinkwasser zählen dazu auch Versorgungs-, Regulations- und kulturelle Dienstleistungen – mithin alle Vorteile, die natürliche Systeme bieten können. Kulturelle Ökosystemdienstleistungen erbringen beispielsweise urbane Gärten, Friedhöfe, Parkanlagen oder Stadtwälder: Sie lassen kulturelles Erbe und Natur erfahren, verschaffen ästhetisches Vergnügen, dienen dem sozialen Zusammenhalt, der Aktivität und Stressreduktion und der Erholung. Ein kultureller Wert kann auch innovativen Projekten zugeschrieben werden, mit denen Städte versuchen, sich dem Klimawandel anzupassen. Beispiele sind Architektur-Natur-Hybride wie die „Green Buildings“ in Singapur oder Konzepte der Baubotanik, etwa die „Grünen Wände“ des französischen Botanikers Patrick Blanc. Diese sind wie vertikale Gärten angelegt und vereinen Konzepte des nachhaltigen Bauens mit positiv assoziierten Gestaltungsmitteln.

#### **Unattraktiv durch Hitzestress**

Solche Strategien und Projekte stehen aber zugleich in Konkurrenz mit anderen Zielen in der planenden Verwaltung und Praxis einer Stadt – beispielsweise nachhaltige Entwicklung einerseits und Bewahrung kulturellen Erbes andererseits. Auch in Heidelberg unterliegt die nachhaltige Stadtentwicklung Abwägungsprozessen: Mehr als 2.800 Gebäude sind denkmalgeschützt; die Altstadt steht sogar als „Gesamtanlage“ unter Schutz. Änderungen in der baulichen Gestaltung, beispielsweise auf Plätzen oder an Fassaden, sind damit nur sehr eingeschränkt möglich. Zu solchen Interessenkonflikten zählen auch die Kontroversen um den Natur- und Kulturraum und die Frage: Braucht das Urbane überhaupt Natur? Unsere Befragungen im Rahmen des Heidelberger Projektes haben bestätigt, dass natürliche Elemente die Attraktivität öffentlicher Räume stark beeinflussen: Kulturelle wie natürliche Elemente prägen das Bild und damit auch die Werte einer Stadt. Beide Komponenten tragen gleichermaßen zur Identitätsbildung bei und müssen sich nicht widersprechen. Neben der physischen Anpassung an die klimatischen Bedingungen spielen aber auch soziale Aspekte eine wichtige Rolle bei der Gestaltung öffentlicher Räume.

Die Beobachtungen im Hitzesommer des Jahres 2018 haben gezeigt, dass viele öffentliche Plätze in Heidelberg aufgrund von Hitzestress zunehmend unattraktiv werden. Um zu analysieren, wie der öffentliche Stadtraum im Kontext der aktuellen Klimaentwicklung wahrgenommen wird, haben wir Heidelberger Passanten nach ihren Ideen und Wünschen befragt. Interessante Einblicke eröffneten sich durch den Einsatz der sogenannten Mental-Maps-Methode,

**„Die Menschheit  
nimmt die  
Ressourcen von  
1,75 Erden  
in Anspruch.“**

bei der Probanden durch Zeichnungen von räumlichen Szenen animiert werden, individuelle Zuschreibungen und Eindrücke preiszugeben. Unsere Auswertung zeigte, dass die städtischen Plätze zumeist nicht für Freizeitwecke genutzt werden; als Gründe dafür nannten die meisten Befragten ein unzureichendes Design – sowohl in baulicher Hinsicht als auch die Vegetation betreffend. Ein größerer Grünflächenanteil und die Integration natürlicher Elemente wurden als wichtigste Faktoren bewertet, um die Aufenthaltsqualität zu verbessern. Städtische Freiräume sind wichtig für die biologische Vielfalt und für gesundheitsfördernde Lebensbedingungen – aber auch für die Wettbewerbsfähigkeit von Städten und Regionen. Auf der Grundlage unserer Resultate lassen sich konkrete Vorschläge für Maßnahmen identifizieren, die dazu beitragen können, die Aufenthaltsqualität an öffentlichen Orten zu verbessern.

Einer anderen Facette urbaner Natur ging ein transdisziplinäres Projekt in der Stadt Friedrichshafen am Bodensee nach. Im Mittelpunkt standen städtische Höhlenbäume, deren Höhlen, Spalten und Rinden von Vögeln, Fledermäusen und Insekten als Quartiere genutzt werden; gerade ältere Bäume bieten den Tieren einen wichtigen Lebensraum. Neben dem Artenschutz muss in der Stadt allerdings auch die Verkehrssicherheit berücksichtigt werden. Dabei geht es vor allem um die Standsicherheit und die Kronen-

beschaffenheit der Bäume. Im Laufe des Projektes wurden die Bäume zunächst begutachtet, das städtische Baumkataster erhielt die ergänzenden Informationen. Es zeigte sich, dass rund zehn Prozent der untersuchten Bäume Höhlenbaum-Charakteristika aufwiesen. Mithilfe von Expertenbefragungen wurden unterschiedliche Sichtweisen auf die Aspekte Artenschutz und Verkehrssicherheit gesammelt und sodann wissenschaftlich ausgewertet. Das wichtigste Ergebnis der Studie ist, dass mangelnde Koordination und Kommunikation ein großes Hindernis darstellen, um eine Gesamtstrategie zu verwirklichen. Zusätzlich zu Vorschlägen zum Management und zur Zusammenarbeit verschiedener Fachstellen konnten während des Projektes auch konkrete technische Maßnahmen für die Pflege der Bäume erarbeitet werden.

Ein weiteres TdLab-Projekt befasste sich mit nachhaltigem Tourismus im Biosphärenreservat Pfälzerwald-Nordvogesen. Biosphärenreservate sind von der UNESCO ausgezeichnete Regionen, in denen nicht nur ein ökologischer Schutzstatus, sondern auch eine umfassende nachhaltige Entwicklung verwirklicht werden soll. Der Tourismus spielt dabei eine große Rolle: Einerseits hinterlässt die touristische Nutzung Spuren in der Umwelt, andererseits werden Natur und Kultur des Raums durch den Tourismus in Wert gesetzt. Im TdLab-Biosphärenprojekt haben wir eng mit Stakeholdern aus dem

**„Nachhaltige Entwicklung  
ist eine Entwicklung,  
die die Bedürfnisse der Gegenwart  
befriedigt, ohne zu riskieren,  
dass künftige Generationen ihre  
eigenen Bedürfnisse  
nicht befriedigen können.“**

ACTING TOGETHER

# THE GREAT TRANSFORMATION

NICOLE AESCHBACH &amp; KATHRIN FOSHAG

The impact of humans on nature has increased massively in recent decades. Many fields of action relating to sustainability and the environment are among the so-called “societal challenges”. They represent “wicked problems”, i.e. issues that are characterised by a high degree of complexity, usually affect a large number of stakeholders and often lead to conflicting objectives. In order to address such societal challenges from a scientific angle, we need transdisciplinary (td) approaches that combine the knowledge and perspectives of the academic world with those of stakeholders outside of academia.

At the Institute of Geography, we recently launched the “TdLab Geography” (Transdisciplinarity Laboratory). We apply methods from different scientific cultures and develop innovative td-approaches for research and teaching, focusing on physical geography, geoinformatics and related fields. Current research projects have already developed and implemented solutions, e.g. in the context of urban nature, climate change adaptation and sustainable tourism. The scientists involved contribute to basic research – by generating knowledge and developing new methods – and work with stakeholders to generate solutions that, by becoming part of common practice, pave the way towards greater sustainability. ●



DR NICOLE AESCHBACH heads the “TdLab Geography”, which was established in 2018 at Heidelberg University’s Institute of Geography and focuses on investigating the “geographies of climate change”. In addition, she is a freelance contributor to the mobility platform of ETH Zurich (Switzerland). From 2011 until early 2017, she was executive manager of the Heidelberg Center for the Environment (HCE), and in 2017 worked as a department coordinator at ETH Zurich.

Contact: nicole.aeschbach@uni-heidelberg.de

DR KATHRIN FOSHAG studied geography at Heidelberg University and graduated with a Master of Science. In late 2018 she obtained her doctorate in the field of climate change adaptation, transdisciplinary modes of working and research-based learning. She is currently a postdoctoral researcher at the Institute of Environmental Physics and at the “TdLab Geography” of Heidelberg University’s Institute of Geography.

Contact: kathrin.leutz@iup.uni-heidelberg.de

**“Transdisciplinary research contributes to both basic research and sustainable development – in the sense of a great transformation that unfolds in small steps.”**

deutschen Teil des Reservats Pfälzerwald-Nordvogesen zusammengearbeitet und einen Katalog mit 47 Indikatoren entwickelt, der es erlaubt, Nachhaltigkeit im Tourismus zu prüfen. Zu den klassischen Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales kommen institutionelle Indikatoren hinzu, weil Institutionen als Planungs- und Kontrollinstanzen maßgeblich die Durchsetzung der Ziele einer nachhaltigen Entwicklung beeinflussen. Aus rein akademischer Sicht war zu Beginn des Forschungsprojekts noch nicht absehbar, wie bedeutend gerade diese Dimension in der aktuellen Arbeit des Biosphärenreservats ist. Erst durch das Co-Design der Fragestellung gemeinsam mit dem Team vor Ort und immer wieder stattfindende Gespräche ließ sich ein Ergebnis erzielen, das für Wissenschaft und Praxis von gleichermaßen hohem Wert ist. Die Resultate der Td-Forschung im Biosphärenreservat Pfälzerwald-Nordvogesen flossen unmittelbar in den Aufbau einer Koordinationsstelle für Tourismus ein. Aktuelle Projekte des Heidelberger TdLab Geographie befassen sich etwa mit den Themen Weinbau im Klimawandel, nachhaltiger Mobilität oder Konfliktfeldern im Bereich Hochwasser- und Naturschutz.

#### **Transdisziplinäre Forschung**

Peter Strohschneider, bis Ende 2019 Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft, gab in seinem im Jahr 2014 erschienenen Artikel „Zur Politik der Transformativen Wissenschaft“ zu bedenken, dass Wissenschaft zu einem „Instrument der Großen Transformation“ werden könnte. Fundiert geplante Td-Forschung kann diese Hürde nehmen. Forschung muss objektiv, integer, transparent und wahrhaftig sein: Diese Anforderungen lassen sich auch dann gewährleisten, wenn Partner aus dem nicht-akademischen Umfeld am Forschungsprozess beteiligt sind und es darum geht, Antworten auf drängende Fragen der Gesellschaft zu finden. Transdisziplinäre Forschung leistet auf diese Weise sowohl einen Beitrag zur Grundlagenforschung als auch zur nachhaltigen Entwicklung – im Sinne einer „großen Transformation in kleinen Schritten“. ●

**„Transdisziplinäre  
Forschung leistet  
einen Beitrag  
sowohl zur Grund-  
lagenforschung als  
auch zur nach-  
haltigen Entwicklung –  
im Sinne einer  
,großen Transformation  
in kleinen Schritten‘.“**

**DICKE LUFF**

DICKE LUFT

# CHINA IM UMWELTSTRESS

ANJA D. SENZ

Schon seit Jahrhunderten durchläuft China eine Umformung der Natur, die in Kontrast zur idealisierten Darstellung in der chinesischen Kunst steht. In den vergangenen Jahrzehnten führte eine auf rasches Wachstum ausgerichtete Industrialisierungsstrategie zu schweren Umweltbelastungen, das Land gilt heute als einer der weltweit größten Klimasünder und zahlreiche Umwelt- und Lebensmittelskandale sorgen für wachsenden Unmut in der Bevölkerung. Welche Wege geht China in der Umweltpolitik und wie reagiert die politische Führung auf gesellschaftliche Kritik? Diesen Fragen geht die gegenwartsbezogene Chinaforschung am Heidelberger Institut für Sinologie nach.

# M

Melanin im Milchpulver, Kadmium im Reis, Malachit in Meeresfrüchten, Blei im Tee, Antibiotika im Hühnerfleisch, explodierende Wassermelonen und aus Abwässern „recyceltes“ Speiseöl – das sind nur einige der zahlreichen in den letzten Jahren bekannt gewordenen Lebensmittelskandale in China. Sie werfen ein Schlaglicht auf die diversen Kontaminationen von Wasser, Luft und Boden und deuten auf Schwachstellen in der politischen Regulation hin. Bereits seit vielen Jahren ist China fester Bestandteil der internationalen Debatten zu Umwelt- und Klimaschutz. Im Zuge der rapiden Wirtschaftsentwicklung haben sich die Umweltbedingungen stark verschlechtert und hohe Emissionen führen dazu, dass das Land als einer der weltweit größten Klimasünder gilt. Internationale Umweltindizes belegen das enorme Ausmaß der Umweltzerstörung in China, das bei der Bevölkerung zunehmend zu Unzufriedenheit führt. Umweltstress ist allerdings kein neues Phänomen in China.

Neben den von Menschen erzeugten Problemen stellen schwierige naturräumliche Gegebenheiten eine grundsätzliche Herausforderung dar. Chinas agrarisch nutzbare Fläche steht seit jeher in ungünstiger Relation zur Bevölkerungsgröße: So sind nur etwa 12,5 Prozent des Territoriums landwirtschaftlich nutzbar, wobei durch Urbanisierung und Industrialisierung in den letzten Dekaden viele Agrarflächen verloren gingen. Problematisch ist auch die Verfügbarkeit von Wasser: Mit sechs Prozent der weltweiten Frischwasserreserven müssen heute knapp 20 Prozent der Weltbevölkerung versorgt werden. Zudem sind die Wasserressourcen in Nord-Süd-Richtung ungleich verteilt, wodurch der Süden von Wasserreichtum, der Norden jedoch von Trockenheit und häufigen Dürreperioden gekennzeichnet ist.

**Jahrhundertealte Tradition von Umweltveränderung**  
Staatliches Umweltmanagement – die Organisation von Terrassenbau und Bewässerungssystemen, die Trockenlegung von Land, die Abholzung und Wiederaufforstung von Wäldern, die Entwicklung neuer Getreidesorten und Saattechniken – zählt zum jahrhundertealten sozio-kulturellen Repertoire Chinas. Entwicklung, Verfall oder Wiederherstellung von Kulturlandschaften korrespondierten oftmals mit dem Aufstieg und Niedergang von Dynastien und verknüpften das politische Schicksal Chinas eng mit



**PROF. DR. ANJA D. SENZ hat seit Februar 2019 die Professur für Gegenwartsbezogene Chinaforschung am Institut für Sinologie der Universität Heidelberg inne. Zuvor forschte sie am Institut für Ostasienwissenschaften der Universität Duisburg-Essen und am Torino World Affairs Institute der Universität Turin (Italien). Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören die Beziehungen zwischen Staat und Gesellschaft in China, insbesondere in den Bereichen Kommunalpolitik und Umwelt-Governance, sowie Handel und Konnektivität in Asien. Regelmäßig hält sie sich zur Feldforschung nicht nur in China, sondern auch in Nachbarländern wie Indien und Myanmar auf, um Daten für ihre Untersuchungen zu erheben. Als Gastprofessorin lehrt sie an der Nankai Universität in Tianjin (China). Sie ist Mitglied im Editorial Board des „Journal of East Asian Studies“ sowie des „German Journal on Contemporary Asia“ und Sprecherin des wissenschaftlichen China-Beirats der Deutschen Gesellschaft für Asienkunde. Neben ihrer Tätigkeit als Gutachterin für zahlreiche internationale Fachzeitschriften berät sie Politik und Wirtschaft auf EU-, Bundes- und Landesebene zur Kooperation mit China.**

Kontakt: [anja.senz@zoi.uni-heidelberg.de](mailto:anja.senz@zoi.uni-heidelberg.de)

einer erfolgreichen Lenkung der landwirtschaftlichen Produktion. Während Steuerabgaben auf der Basis landwirtschaftlicher Erträge in die Finanzierung der kaiserlichen Bürokratie flossen, organisierte diese die Umformung der Natur in „ernährende Landschaften“ und trug für deren Erhalt Sorge. Neben der „Optimierung“ der Natur als Reaktion auf den hohen Bevölkerungsdruck wurden außerdem für die durchaus häufigen Notzeiten zum Beispiel Getreidespeicher angelegt. Trotz der Bemühungen zur Sicherung landwirtschaftlicher Erträge drückt sich in der chinesischen Grußformel „Nǐ chīle ma?“ (Hast Du schon gegessen?) bis heute die lange kollektive Bedrohung durch den Hunger aus. Die chinesische Geschichtsschreibung verzeichnet zwischen dem Jahr 108 v. Chr. und 1911 insgesamt 1.828 Hungersnöte; hinzu kommen Ereignisse aus der Frühphase der Volksrepublik China, so unter anderem die schwere Hungerkatastrophe im Zusammenhang mit der zulasten des Agrarsektors forcierten ländlichen Stahlproduktion während des „Großen Sprungs nach vorn“ (1958 bis 1962).

Die jahrhundertelange reale Umformung der Natur steht im Kontrast zu ihrer idealisierten Darstellung in der chinesischen Lyrik, Literatur und Landschaftsmalerei, was in der „westlichen“ Auseinandersetzung mit China zu einer Überbetonung der Naturphilosophie und Umweltethik des Daoismus, Buddhismus und Konfuzianismus verleitete. Dies förderte Interpretationen, die eine Zerstörung des vermeintlich „harmonischen Einklangs“ von Mensch und Natur in China einseitig als Resultat von Imperialismus beziehungsweise aus dem Ausland importierten kapitalistischen oder sozialistischen Naturbeherrschungsideen deuteten. Tatsächlich ist die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts als Folge einer auf rasches Wachstum ausgerichteten Industrialisierungsstrategie geprägt von schweren Umweltbelastungen. Die Mao-Ära wurde daher auch als „Krieg gegen die Natur“ charakterisiert, der jedoch in einer langen Tradition von Umweltveränderung und Naturausbeutung steht.

Mit dem Eintritt in die Phase der Reform- und Öffnungspolitik ab 1978 änderte sich der Modus, nicht aber der Grundtenor einer Unterordnung der Natur unter sozio-ökonomische Zielsetzungen. Großflächige Infrastrukturprojekte, forcierte Ressourcenextraktion, Industrialisierung und Intensivierung der Landwirtschaft, Urbanisierung, zunehmende Mobilität und Binnenmigration, der steigende Energiebedarf und die Lebensgewohnheiten der wachsenden urbanen Mittelschicht haben gravierende Folgen für die Umwelt. Hier setzt unsere Forschung an und fragt, welchen Stellenwert Umweltthemen in einem sich so dynamisch entwickelnden Umfeld haben und mit welchen Maßnahmen die chinesische Regierung auf Umweltprobleme und gesellschaftliche Umweltschutzforderungen reagiert.

# „Staatliches Umweltmanagement zählt zum jahrhundertealten sozio-kulturellen Repertoire Chinas.“

## Umweltprobleme heute

Luftverschmutzung, ausgelaugte oder mit Schadstoffen belastete Böden und schlechte Wasserqualitäten kennzeichnen China heute landesweit. Besonders die alten Industrieregionen im Nordosten sowie die Industriezentren am Yangzi- und am Perfluss-Delta sind von Emissionseinträgen durch sauren Regen, Chemikalien aus der Landwirtschaft, Industrie- und Bergbauaktivitäten sowie einer ungeregelten Müllbeseitigung betroffen.

Mitte der 2000er-Jahre wies die nationale chinesische Umweltbehörde erstmals darauf hin, dass die positiven Entwicklungen der Wirtschaft durch die Umweltzerstörung aufgezehrt würden, weil die Kosten der Umweltdegradation dem Wert des jährlichen Wirtschaftswachstums entsprächen. Eine aktuelle Weltbank-Studie kommt zu einem ähnlichen Resultat. Umwelterkrankungen sind einer der Kostenfaktoren, auch geraten viele Menschen in finanzielle Not, weil sie die Erträge ihrer verseuchten Böden nicht mehr verkaufen können. Knapp 300 chinesische Städte, deren bisherige ökonomische Basis die Rohstoffextraktion (Kohle, Mineralien, Forstwirtschaft) war, gelten heute offiziell als „ressourcenerschöpft“. Für viele Einwohner bedeutet das den Verlust ihres Arbeitsplatzes, und so sind mehrere Millionen Menschen auf staatliche Grundversorgung angewiesen.

## Unzufriedene Bevölkerung

Besonders die „dicke Luft“ in Chinas Städten sowie belastete Nahrungsmittel schüren die Unzufriedenheit der Bevölkerung. Die Anzahl der Umweltproteste ist in den letzten zwei Jahrzehnten stetig gestiegen, wobei sich das Internet und neue Möglichkeiten der digitalen Vernetzung als wichtige Informations- und Mobilisierungsinstrumente

erweisen. In Umfragen zu den Sorgen der chinesischen Bevölkerung rangieren Umweltprobleme stets auf den vorderen Plätzen – die Menschen erwarten Lösungen von der Politik. Das ist nicht erstaunlich in einem Staat, der der Gesellschaft wenig Freiraum für Debatten und Selbstorganisation lässt und für alle relevanten Fragen Zuständigkeit reklamiert. Doch Chinas Führung hat nicht nur aus Gründen der politischen Stabilität und Legitimation inzwischen ein vitales Interesse an der Verbesserung der Umwelt: Für eine weitere positive ökonomische Entwicklung sind Innovation und die Produktion hochwertiger Güter essenziell. Neue Umwelttechnologien und zum Beispiel die Elektromobilität sind mögliche Wege aus der Sackgasse der billigen Massenproduktion und zudem ein internationaler Markt mit großem Potenzial.

Die Umsetzung umweltpolitischer Maßnahmen erweist sich jedoch als schwierig, denn die wirtschaftlichen und sozialen Dynamiken ab 1978 mit dem Übergang vom Plan zum Markt haben die politische Struktur in China verändert. Liberalisierung und Dezentralisierung – also die Übertragung von Verantwortlichkeiten auf nachgeordnete staatliche Ebenen – haben den Provinzen, Städten und Kreisen Verhandlungsspielräume gegenüber der Zentrale in Peking eröffnet. Das politische System Chinas ist somit durch eine Vielzahl von Akteuren mit diversen Eigeninteressen gekennzeichnet, die sich in einer komplizierten Matrix aus vertikalen und horizontalen behördlichen Kompetenzen bewegen. Dies erschwert die landesweite Steuerung und Durchsetzung von Politiken, Gesetzen und Mindeststandards. Viele Gesetzestexte formulieren nur allgemeine Prinzipien, sind wenig detailgenau und lassen Lücken im Hinblick auf eindeutige Verantwortlichkeiten. Hieraus resultieren große Vollzugsdefizite bei der Implementierung der Umweltgesetze. Unklare Zuständigkeiten, eine oft mangelhafte Ausstattung und Qualifikation der lokalen Verwaltungen sowie ein schwaches Rechtssystem, das eine Durchsetzung von Gesetzen und Ansprüchen nicht sicherzustellen vermag, konterkarieren die Bemühungen für mehr Umweltschutz. Hinzu kommen lokaler Protektionismus, korruptives Verhalten und ein doppeltes Berichtswesen, in dessen Rahmen inhaltlich variierende Ergebnisse nach oben gemeldet werden. Lokale Behörden verfolgen in einem solchen Kontext häufig eigene politische Ziele.

## Umweltengagement stößt auf Repression

Pilotgebiete und Modellregionen sind, so zeigen unsere Untersuchungen vor Ort, ein Mechanismus, mit dem der Zentralstaat die Einhaltung und Verbreitung von Umweltstandards durch Anreize fördert. Manchmal werden hierdurch Probleme nur verlagert, wenn Städte zwecks Verbesserung der lokalen Umweltbilanz umweltverschmutzende Fabriken kurzerhand in angrenzende ländliche Räume umsiedeln. In anderen Fällen werden neue Methoden

# „Die jahrhundertelange reale Umformung der Natur steht im Kontrast zu ihrer idealisierten Darstellung in der chinesischen Lyrik, Literatur und Landschaftsmalerei.“

zunächst in überschaubarem Rahmen getestet, bevor sie in landesweite Politikvorgaben übernommen werden. Dies ermöglicht institutionelles Lernen sowie den „Import“ von Ideen und Lösungsansätzen, die sich in anderen Regionen oder dem Ausland erfolgreich bewährt haben.

Auf der kommunalen Ebene setzen sich zahlreiche soziale Initiativen für Ökologie ein. Im Allgemeinen tolerieren staatliche Stellen diese gesellschaftlichen Aktivitäten, solange konkrete Themen behandelt werden. Soziale Organisationen, die sich nach strikten Kriterien offiziell registrieren müssen, geraten jedoch leicht in Konflikt mit den Behörden, wenn sie Probleme aufgreifen, die den Interessen ansässiger Unternehmen oder Funktionäre zuwiderlaufen. Häufig geht es dabei um die Einhaltung von Umweltstandards. Hier stößt Umweltengagement auf Repression, besonders, wenn lokale Kader eine überregionale Wahrnehmung und damit einen Karriereknick befürchten müssen. Anders als von den subnationalen Verwaltungen werden diese lokalen Umweltaktivitäten von zentralen Regierungsstellen durchaus positiv bewertet. Da Umweltpolitik angesichts einer fragmentierten politischen Struktur mit divergierenden Interessenlagen nicht allein auf administrativem Weg durchgesetzt werden kann, sind lokale Aktivitäten und Proteste für die Zentrale eine Informationsquelle über Missstände und eröffnen die Möglichkeit, Druck auf die lokale Administration auszuüben.

„Für die Kommunistische Partei Chinas ist ‚Ökologische Zivilisation‘ das Schlagwort im neueren chinesischen Umweltdiskurs.“

## Ästhetisierung des Umweltthemas

Für die Kommunistische Partei Chinas ist „Ökologische Zivilisation“ das Schlagwort im neueren chinesischen Umweltdiskurs. Eingeführt 2007, gehört es seit dem 18. Parteitag im Jahre 2012 zum festen ideologischen Begriffsrepertoire. Während der erste Bestandteil „Ökologie“ (shēngtài) mit der Idee des Bewahrens und Sparens von Ressourcen verknüpft ist, steht der zweite Bestandteil „Zivilisation“ (wénmíng) in Bezug zu einem breiteren Zivilisationskonzept, mit dem die chinesischen Regierungen seit den 1980er-Jahren auf jeweils aktuelle Probleme reagieren. So wurde zum Beispiel bereits eine „spirituelle“ von der „materiellen“ Zivilisation differenziert, um ideologisch den akzeptablen Wohlstand von der Profitgier unterscheiden und die Moral der Bevölkerung entsprechend lenken zu können. „Zivilisation“ beschreibt demnach ein modellhaft anzustrebendes Leben. Kaum ein Ort in China, wo heute nicht Schilder dazu auffordern würden, sich „zivilisiert“ zu verhalten. Vermutlich aufgrund seiner ideologischen Aufladung wird der Begriff in der offiziellen englischen Übersetzung mit „ökologischem Fortschritt“ wiedergegeben und so in das semantische Kontinuum von Reform und Entwicklung gerückt – eine häufige Übersetzungsraffinesse gegenüber dem nicht chinesischsprachigen Ausland.



NO BREATH OF FRESH AIR

# CHINA IN ENVIRONMENTAL DISTRESS

ANJA D. SENZ

In the last three decades, China has undergone rapid economic development, resulting in a high level of environmental stress. The widespread contamination of air, soil and water has led to public discontent and a steadily rising number of protests in recent years. However, environmental management and dealing with acute environmental stress is nothing new for China. Throughout history, the disparity between the country's large population and the available farmland, and the many weather extremes like floods and droughts, have presented important challenges to the imperial bureaucracy.

Today a practical implementation of environmental protection measures is of high relevance to the Chinese government, but represents a complex task, given the dynamic socio-economic setting. Our research, which is based on regular field work in China, looks into the administrative steering mechanisms, the development of laws and regulations and the interaction between state and society in the field of environmental policies. It also shows how the Chinese communist ideology reflects current challenges related to environmental degradation and how the communist party reacts to public concerns. ●

PROF. DR ANJA D. SENZ accepted the Chair of Contemporary Chinese Studies at Heidelberg University's Institute of Chinese Studies in February 2019. She previously worked as a researcher at the Institute of East Asian studies of the University of Duisburg-Essen and at the Torino World Affairs Institute of the University of Turin (Italy). Her research interests are the relationship between state and society in China, particularly in the areas of local politics and environmental governance, and trade and connectivity in Asia. She regularly conducts field research in China and neighbouring countries such as India and Myanmar, in order to gather data for her investigations. She is also a visiting professor at Nankai University in Tianjin (China). Professor Senz serves on the editorial board of the "Journal of East Asian Studies" and the "German Journal on Contemporary Asia" and is speaker of the Academic Advisory Council of the German Association for Asian Studies. In addition to her work as consultant for numerous international specialist journals, she advises political and economic decision-makers at the EU, federal and state level on cooperation with China.

Contact: [anja.senz@zo.uni-heidelberg.de](mailto:anja.senz@zo.uni-heidelberg.de)

**“The centuries-long real-life transformation of nature is in direct contrast to its idealised depiction in Chinese poetry, literature and landscape painting.”**

Der Interpretation einer großen chinesischen Tageszeitung zufolge ist der Begriff als zukunftsorientiertes Leitbild zu verstehen, das den hohen Preis berücksichtigt, der für das bisherige Wirtschaftswunder gezahlt wurde. Er schließt keinesfalls nur eine theoretische Leerstelle im „Sozialismus mit chinesischen Besonderheiten“, sondern spiegelt eine Veränderung im Entwicklungsverständnis der Partei wider, die nun nicht mehr nur den wirtschaftlichen Aufbau als Kern von Entwicklung ansehe, sondern auch den Aspekt der Nachhaltigkeit als der richtigen Beziehung von Mensch und Natur. Damit versucht der Begriff die Frontstellung von Wachstum und Umweltschutz zu überwinden, bleibt inhaltlich aber zugleich so vage, dass er politisch flexibel auf einer Skala zwischen Rechtfertigung bestehender Herrschaft und moderatem politischen Wandel genutzt werden kann.

Verbreitete Slogans wie „die ökologische Zivilisation voranbringen und ein schönes China aufbauen“ verweisen einerseits auf eine Ästhetisierung des Umwelthemas. Sie werden andererseits zu einem politischen Mantra, das die schwache Leistungsfähigkeit konkreter lokaler Politik adressiert, durch die die Legitimität von Staat und Partei aufgrund der starken Umweltverschmutzung gefährdet ist. Auf dieser Basis ist die politische Führung in den letzten zwei bis drei Jahren mit neuem Nachdruck gegen Umweltsünder vorgegangen. Wie erfolgreich diese Maßnahmen sein werden und was wir anhand des Beispiels Umweltpolitik über das Zusammenspiel von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft im heutigen China lernen können, wird die Heidelberger Forschung auch weiterhin beschäftigen. ●

**„Mit dem Eintritt in die Phase der Reform- und Öffnungspolitik ab 1978 änderte sich der Modus, nicht aber der Grundtenor einer Unterordnung der Natur unter sozio-ökonomische Zielsetzungen.“**

# NACH DER KATASTROPHE

NACH DER KATASTROPHE

# WARUM KULTURERBE DOKUMENTIERT WERDEN MUSS

CHRISTIANE BROSIUS

**Naturkatastrophen wie die Erdbeben in Nepal im Jahr 2015 können nicht nur Leben beenden, sondern sie können durch massive Zerstörungen auch dramatische Auswirkungen auf die Lebenswelten und Kulturen der betroffenen Gegenden haben. Für den Wiederaufbau ist daher eine systematische Dokumentation des kulturellen Erbes wichtig. Ein entsprechendes Projekt an der Universität Heidelberg bezieht in diese Dokumentation nicht nur das Kulturerbe ein, sondern auch die sogenannte kulturelle Hinterlassenschaft: das Wissen, das zu den Objekten und der rituellen Praxis vor Ort gehört, selbst aber bereits Teil des zu bewahrenden Kulturerbes ist – etwa jahrzehntealtes Karten- oder Fotomaterial.**



Im Jahr 2015 nahmen die Bilder von den Erdbeben in Nepal in den Medien mehrere Wochen einen prominenten Platz ein. Die Naturgewalten forderten knapp 10.000 Tote; circa 600.000 Wohnhäuser, Schulen und mehr als 150 als Weltkulturerbe deklarierte Monumente wurden nahezu vollständig zerstört. Wie gehen Menschen mit Naturkatastrophen eines solchen Ausmaßes um? Wie wirken sie sich auf kulturelle Praktiken und das Verständnis von kulturellem Erbe aus? Welchen Beitrag können Geistes- und Sozialwissenschaften leisten, diese Prozesse zu erfassen, zu dokumentieren und zu reflektieren – auch mit Blick auf die Zukunft?

Erdbeben sind in einer von tektonischen Verschiebungen betroffenen Gegend wie dem Himalaya fast Normalität – das Gebirge selbst entstand als Folge von Erdbeben. Seit Menschen in höherer Dichte bestimmte Gegenden besiedeln, sind die Auswirkungen auf ihre Lebenswelten und Kulturen jedoch teilweise dramatisch. Das war etwa im April und Mai 2015 der Fall, als sich Kathmandu um einen Meter anhebte und um 1,5 Meter nach Süden verrückt wurde. Es mag überraschen, zu hören, dass es in diesen Orten fast in jedem Jahrhundert ein großes Erdbeben mit oft mehreren Tausend Opfern gegeben hat. Für eine urbane Region wie das Kathmandutal mit fast fünf Millionen Menschen ist die Erdbebengefahr daher ein Damoklesschwert.

**Bauten und Rituale sind eng miteinander verbunden**  
Einst bedeckte dieses Tal ein See – wohl Schmelzwasser von Gletschern des Himalayas (wörtlich „Ort des Schnees“). Laut lokalen Chroniken floss das Wasser ab, als der „Bodhisattva Manjushri“ – eine Erscheinungsform eines Buddha – mit einem Schwert eine Schneise in den Berg schlug. Kultur folgte nach: Die erste datierbare größere Besiedelung geht wohl auf das 2./3. Jahrhundert v. Chr.

# „Gerade der Verlust durch Zerstörung ruft bei manchen Gruppierungen verteidigende Schutzreaktionen für Bauten oder Rituale hervor.“

zurück. Das fruchtbare Kathmandutal wurde so zu einer der am längsten besiedelten Regionen im Himalaya, mit einer einzigartigen sozio-kulturellen und religiösen Vielfalt und Vernetzung mit den „großen“ Nachbarn Tibet, China und Indien.

Für Touristen ist das Kathmandutal oft eher zweitrangig, viele stoßt die schnell wachsende Metropolenregion mit ihrer schockierenden Luftverschmutzung ab. Stattdessen reizen die „reinen“ Naturspektakel der Berge, insbesondere des Annapurna und des Mount Everest. Von den sieben UNESCO-Weltkulturerbestätten im Kathmandutal suchen die Touristen meist nur die drei ehemaligen Königsstädte sowie einige Museen auf. Für die Nepalesen steht hinter allem eine andere, meist religiös konnotierte Bedeutung: Wie ein Großteil der Natur sind auch die Berge heilig, belebt von Ahnengeistern, bewohnt von Göttern. Zahlreiche Rituale bezeugen dies, sind gemeinschaftsbildend und richten sich nach für die Landwirtschaft wichtigen Jahreszyklen aus. Bauten und Rituale sind meist eng miteinander verbunden.

## Drei Formen von Reaktionen

Es dauert nur Sekunden. Danach steht alles Kopf. Staubwolken. Bisweilen seltsame Stille. Ein gewaltiges Naturereignis wie ein Erdbeben ruft eine Fülle von Reaktionen hervor, es wird gehandelt, nach Lösungen gesucht. Wie bei einem Stich in einen Ameisenhaufen werden viele Menschen, staatliche Institutionen, Medien, internationale und private Hilfsorganisationen hektisch aktiv. Es geht um

die Frage des Überlebens, der Rettung von Menschen, aber auch des Wiederaufbaus: in erster Linie von Wohnhäusern und Schutzbehäusungen. Aber es geht auch um das Bewahren des materiellen und immateriellen Kulturerbes: Es gilt zu vermeiden, dass die Götter obdachlos sind, dass die Menschen sich nicht um sie kümmern können. Drei Formen dieser Reaktionen, die auch im Zentrum des Nepal Heritage Documentation Project (NHDP, siehe Kasten) stehen, sollen hier näher vorgestellt werden:

### 1. Konservation und Wiederaufbau

Die Kulturgeschichte des Kathmandutals ist von politischen Machtstrukturen geprägt, die ihre Spuren im heutigen Stadtalltag hinterlassen haben. Drei Dynastien regierten Nepal ab dem 13. Jahrhundert – die Mallas (Newars), die Gorkhas und die Shahs. Die dominante Bevölkerungsgruppe der Newars, sowohl Hindus wie auch Buddhisten, prägte die einzigartige, synkretistische und bis heute lebendige Religion, soziale Struktur und Kultur. Die beeindruckenden Paläste und Hindutempel in den drei Königsstätten Kathmandu, Bhaktapur und Patan sind Teil kosmopolitischer Kunsthandwerks-, Handels- und Gelehrtenzentren und eines umfassenden Netzes Hunderter buddhistischer Monumente wie Stupas – buddhistische Reliquienbauten – und Klöster. Diese waren bereits Elemente der mittelalterlichen Stadtkultur.

Schauen wir nach Patan: Neben der Zerstörung Hunderter Wohnhäuser wurden hier auch viele Kulturerbestätten

beschädigt. Die prominentesten wurden weitgehend restauriert, weniger bekannte Monumente aber sind in einem bedauerlichen Zustand. Der Kathmandu Valley Preservation Trust (KVPT), mit dem das Heidelberger NHDP kooperiert, merkt schon 2015 an, dass gut 2.000 kulturell wertvolle Gebäude im Kathmandulal schwer beschädigt sind. Ihnen drohen Zerfall, Abriss oder inadäquater Wiederaufbau. Letzteres heißt oft, dass das historische Material nicht genutzt (stattdessen etwa verkauft oder entsorgt wird) und Beton als angeblich erdbebenresistentes Symbol für Modernität eingesetzt wird. Während in der stark betroffenen Stadt Kathmandu historische Überbleibsel von kollabierten Gebäuden schnell beseitigt wurden, engagierten sich in Patan viele Menschen, inklusive der Armee, schon einige Tage nach dem ersten Erdbeben für die sichere Lagerung von wertvollen Schnitzereien und Steinskulpturen der eingebrochenen Tempel.

Wiederaufbau und flexibles Handeln geschehen insbesondere auf lokaler, nichtstaatlicher Ebene. Hier findet sich ein kompliziertes Verhältnis zum alltäglich präsenten Kulturerbe. In manchen Nachbarschaften ist eifriges Klopfen zu hören, man baut kleine Schreine und öffentliche Sitzstätten wieder auf. An anderen Ecken ist auf einmal ein Gemeinschaftshaus mit einmaligen Schnitzereien aus dem 18. Jahrhundert abgerissen. Die Lücke wird schnell geschlossen, vielleicht von einem vierstöckigen Wohnhaus

### Nepal Heritage Documentation Project

Das am Heidelberger Centrum für Transkulturelle Studien (HCTS) angesiedelte Nepal Heritage Documentation Project (NHDP) unter der Leitung von Prof. Dr. Christiane Brosius erfasst bedrohte Monumente und historische Gebäude in Nepal. In der Pilotphase entstand ein digitales Register historischer und ethnologischer Daten zu Entstehung und Wandel von mehr als 400 Bauten, historischen Ereignissen sowie religiöser und sozialer Nutzung bedrohter Kulturerbebauten im historischen Teil der Königsstadt Patan (Lalitpur) im Kathmandulal. Die Datenbank DANAM (Digital Archive of Nepalese Art and Monuments) ist öffentlich zugänglich. Kooperationspartner des Projekts sind in Deutschland die Heidelberger Akademie der Wissenschaften (Prof. Dr. Axel Michaels) und das i3Mainz/Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik der Hochschule Mainz (Dr. Ashish Karmacharya), Partner vor Ort sind die Saraf Foundation for Himalayan Tradition and Culture und das nepalesische Department of Archaeology. Die britische ARCADIA Foundation fördert das Projekt derzeit mit knapp 400.000 Euro jährlich.

<http://nhdp.kjc.uni-heidelberg.de>

mit Laden im Erdgeschoss. Das Erdbeben treibt die Stadtentwicklung weiter.

Auch wenn es heute nur noch wenige indigene buddhistische Mönchsgemeinschaften im Tal gibt, sind die alten Klosterstrukturen noch sichtbar und inzwischen von Nachfahren der Mönche, weitgehend Newars, bewohnt. Mehr als 200 Klosterensembles (Bāhāḥs) stehen allein in Patan, viele von ihnen durch niedrig überdachte Gänge quasi-organisch miteinander verbunden. Eine nicht unbedeutliche Anzahl von Wohnhäusern steht aber inzwischen leer, weil manche Familien es vorgezogen haben, in „moderne“ Häuser am Stadtrand oder gleich in ein anderes Land zu ziehen. Andere Familien haben erkannt, dass die Nähe zum UNESCO-Weltkulturerbe finanziell genutzt werden kann: Sie vermieten modernisierte Wohnungen im traditionellen Stil und tragen so auch zu einer Art Gentrifizierung bei. Was jedoch dauerhaft und zunehmend aus der Stadtlanschaft verschwindet, sind die zahlreichen Kloster- und Privatgärten, die kleinen Äcker der Bauern, offene Plätze, an denen man sich treffen oder auch Rituale durchführen konnte. Neue Wohnhäuser, Läden oder schicke Restaurants entstehen an ihrer statt, vielleicht mit einer „traditionellen“ Fassade versehen, aber weitgehend aus Zement erbaut. Auch hierbei war das Erdbeben Katalysator, hat bisweilen zerstört, was störte.

Andererseits haben sich nach dem Erdbeben verstärkt lokale Gruppen zu Initiativen zusammengeschlossen, um gemeinsam mit spezialisierten Architekten, Restaurateuren und Kunsthandwerkern private und öffentliche Bauten herzurichten. Vielen wird immer mehr das „traditionelle“, lebendige Kunsthandwerk als Ressource und Teil von kulturellem Erbe bewusst. Es sind vor allem die Handwerker, und hier besonders die Schnitzer, die eine Renaissance erfahren. Und dies, obwohl das Holz ausgeht, weil es inzwischen in großen Mengen von China, Indien oder Europa aufgekauft wird, während Nepal preiswerteres, allerdings weniger gut gelagertes Holz aus Malaysia bezieht.

### 2. Kulturerbe-Aktivismus

Eine weitere Reaktion auf das Erdbeben ist der sogenannte Kulturerbe-Aktivismus. Dabei handelt es sich um eine sozial oder politisch motivierte Form des Definierens und Bewahrens von bisweilen vorher nicht als kulturelles Erbe bezeichneten Monumenten oder Objekten. Gerade der Verlust durch Zerstörung ruft bei manchen Gruppierungen verteidigende Schutzreaktionen für Bauten oder Rituale hervor. So solidarisierten sich bereits wenige Tage nach dem ersten Erdbeben gerade junge Menschen mit besonders betroffenen Vierteln und Orten, aber es genügte ihnen nicht, Schutzbauten zu errichten oder medizinische und psychologische Dienste zu unterstützen. Humanitäre Hilfe betraf auch die kulturelle Infrastruktur, denn man nutzte kulturelles Erbe wie Handwerk als Wissensform, um Würde und



**PROF. DR. CHRISTIANE BROSIOUS** ist Professorin für Visuelle und Medienanthropologie am Heidelberger Centrum für Transkulturelle Studien (HCTS) und forscht dort zu urbanen Kulturen und zeitgenössischer Kunst und Kulturerbe in Indien und Nepal sowie zu Altersbildern und -räumen im städtischen Kontext Nepals. Sie studierte in Frankfurt am Main, London und Oxford (Großbritannien) und lebte im Rahmen ihrer Feldforschungsaufenthalte in Delhi (Indien) und Kathmandu (Nepal). Sie ist Gründungsmitglied von „Tasveerghar – Haus der Bilder“, einer digitalen Initiative zu populärer Bildkultur in Südasien, und leitete das EU-geförderte HERA-Projekt SINGLE über neue Frauenmodelle in Shanghai und Delhi. Die Ethnologin ist Fellow des Marsilius-Kollegs der Universität Heidelberg.

Kontakt: [brosius@asia-europe.uni-heidelberg.de](mailto:brosius@asia-europe.uni-heidelberg.de)



Selbstbewusstsein zu stärken, baute vornehmlich solche Bauten auf, die der Gemeinschaft dienten.

Interessant ist auch das Beispiel des Dorfes Khokana bei Patan, das immer häufiger in die Schlagzeilen kam, weil es Knotenpunkt von fünf „Nationalstolz-Megaprojekten“ wurde, die dort umgesetzt werden sollen. Auf Kosten der Gemeinschaft und ihres kulturellen Erbes, so die Auffassung der Aktivisten, die aus dem Dorf, aber auch aus der Großstadt kamen, um regelmäßig gegen die Bulldozer und sogar die Armee zu protestieren. Ähnlich wie im Fall australischer Aborigines betonte man, dass das Land, das für Autobahnen, Transportumschlagplätze und anderes umgewandelt werden sollte, den Ahnen und Göttern gehörte, dass mit dem Bau der Projekte keine Rituale mehr durchgeführt werden und auch kein Ackerbau mehr betrieben werden könne. Das Dorf verlöre seine Vergangenheit und seine Zukunft. Regierung und private Investoren vertraten hingegen die Auffassung, dass gerade nach der Naturkatastrophe solche Projekte das Land wieder aufstellen würden. Global gesehen gehen Naturkatastrophen wiederholt mit sogenanntem Katastrophen-Kapitalismus einher. Ähnliche Taktiken finden sich etwa auch in Südindien, wo nach dem Tsunami von 2004 ganze Landstriche, die mit Fischerdörfern besiedelt waren, für den Tourismus und lukrative Immobilienprojekte geräumt und erschlossen wurden.

Das Erdbeben hat darüber hinaus eine Debatte entfacht, wie man Wiederaufbau als Möglichkeit verstehen kann, natürliche Materialien wie Holz, Mörtel und Backstein, aber auch Metall und Beton zu verwenden. Rekonstruktion im traditionellen Stil und mit lokaler, nicht ausländischer Förderung, so behaupten einige, ermögliche es, der Zerstörung des Alten durch den Glauben an das „Moderne“ etwas entgegenzuhalten. „Orthodoxe“ Traditionalisten in mächtigen Positionen verweigern daher etwa Baugenehmigungen für Kulturerbebauten, für deren Stützung und Fundament etwa nicht sichtbare Metallpfeiler genutzt werden, damit beim nächsten Erdbeben eine bessere Überlebenschance herrscht. Sie deklarieren dies in den öffentlichen Medien als „un-authentische Verfremdung“. Kulturerbe wird so zum nationalistischen Spielball.

### 3. Dokumentation von Kulturerbe

Für den Wiederaufbau, aber auch für die Schäden künftiger Zerstörungen ist die Dokumentation der Bauten wichtig. Überbleibsel der Zerstörung am Königspalast von Patan etwa wurden von Architekturhistorikern und Mitarbeitern des KVPT sorgfältig sortiert und für den Wiederaufbau präpariert (der Wiederaufbau einiger Tempel am Königspalast konnte von Spendengeldern der Nepalhilfe am Südasien-Institut der Universität Heidelberg co-finanziert und 2019 abgeschlossen werden), aber es war teilweise kaum möglich, das tausendteilige Puzzle der Fragmente wieder zusammenzusetzen, weil es oft an einer ausreichenden Dokumentation

„Kulturerbe spiegelt auch das Wissen von Natur als Ressource – auch wenn diese Ressource für den Gebrauch durch den Menschen, oder die Götter, ‚gezähmt‘ wurde.“

AFTER THE CATASTROPHE

# WHY CULTURAL HERITAGE MUST BE DOCUMENTED

CHRISTIANE BROSIUS

Our world is filled with news of various natural disasters, be it wildfires in South America or Alaska, hurricanes on the US-American coast or floods in South Asia. The Himalayas are particularly prone to earthquakes. In densely populated areas of the region, such as the Kathmandu Valley, how does a disaster like the massive earthquakes of 2015 affect the inhabitants' built environment, their socio-cultural livelihood?

Beyond the humanitarian catastrophe caused by the destruction of residential dwellings, killing hundreds or thousands and rendering many more homeless, the loss of cultural heritage, too, has major effects on the tangible and intangible fabric of people's cultural and religious habitats. While some local communities fear that the deities residing in Buddhist or Hindu shrines or temples might become homeless along with their human devotees and need to be resettled in new "homes", others see a danger to the daily and annual cycles of rituals that are connected to the built heritage and matter to people's lives in many ways. Nepal, and in particular Kathmandu Valley, is home to a very large number of cultural heritage monuments, besides the seven UNESCO heritage zones. Several hundreds of these were affected by the earthquake, and some lie in ruins to this day. Under which conditions do people tend to restore and rebuild such monuments, for what reasons and in what way?

A documentation project at Heidelberg that is run by the Academy of Sciences and the Heidelberg Centre for Transcultural Studies is currently documenting the condition of 440 monuments over a period of two years to trace this process. Using a comprehensive open access digital database, two teams based in Heidelberg and Patan are compiling a comprehensive body of information. The project will help researchers understand how people respond to natural disasters in urban habitats and how closely this is tied to intangible and tangible cultural heritage. ●

PROF. DR CHRISTIANE BROSIUS is a professor of visual and media anthropology at the Heidelberg Centre for Transcultural Studies (HCTS), where she investigates urban cultures and the contemporary art and cultural heritage of India and Nepal, as well as concepts and places of ageing in an urban context in Nepal. She studied in Frankfurt/Main, London and Oxford (UK) and lived in Delhi (India) and Kathmandu (Nepal) while conducting field research. She is a founding member of “Tasveerghar – Haus der Bilder”, a digital initiative on popular visual culture in South Asia, and headed the EU-funded HERA project SINGLE that explores new female role models in Shanghai and Delhi. She is a fellow at the Marsilius Kolleg of Heidelberg University.

Contact: brosius@  
asia-europe.uni-heidelberg.de

**“Cultural heritage can be a driver of innovation and offer critical answers to some of today’s controversial challenges.”**

mangelte. So konnten mehrfach zwar die geschnitzten Götterfiguren wiederhergestellt, nicht aber die vielen Arme der hinduistischen Götter mit den Attributen zugeordnet werden. Es ist auch ein Ziel des NHDP, solche Rekonstruktionen durch historische und neue Detailfotos, Aufmaße, Zeichnungen, Pläne, Inschriften und lokale Informationen zu ermöglichen.

Eine derartige systematische Dokumentation fehlt bisher. Die historische und aktuelle Aufarbeitung, gemeinsam mit Kollegen vor Ort, ermöglicht es, unter anderem zu zeigen, welche Rolle Rituale spielten und spielen, wie wichtig der Landbau für das Stadtleben war und ist. Die mit Arkaden versehenen Rasthäuser etwa dienten Bauern dazu, ihr Gemüse und Obst anzubieten oder Musik zu spielen. Einige der Rasthäuser waren wichtige Haltepunkte für rituelle Prozessionen, die dem Feiern jahreszyklischer Rituale dienten. Das NHDP will auch Hunderte bisher nicht erfasster, oft als heilig angesehener Brunnen in Patan dokumentieren und kartieren, um zu zeigen, wie ausgeklügelt das unterirdische Wassersystem in der Stadt war, das jetzt aufgrund des Rückgangs von Grundwasser wegen Versiegelung der Böden kaum noch genutzt werden kann. Neueste Entwicklungen zeigen, dass die lokale Bevölkerung diese Bedeutung von kulturellem Erbe als zukunftsorientierter Wissensressource – etwa für Wassermanagement – erkennt. Kulturerbe spiegelt daher auch das Wissen von Natur als Ressource – auch wenn diese Ressource für den Gebrauch durch den Menschen, oder die Götter, „gezähmt“ wurde.

#### **Erbe und Hinterlassenschaft**

In den Debatten um Kulturerbe wird meist zwischen materiellem (zum Beispiel Bauten, Objekte) und immateriellem (zum Beispiel Rituale, Traditionen) Kulturerbe unterschieden. Es geht also einerseits um von Menschen gemachte materielle Objekte und andererseits um immaterielle Praxis. Diese Unterscheidung, die auch beim Weltkulturerbe der UNESCO Anwendung findet, greift in einem entscheidenden Bereich zu kurz: dem ererbten beziehungsweise hinterlassenen Kulturerbe. Ich schlage daher vor, hier einen dritten Bereich hinzuzufügen und zwischen Kulturerbe (englisch *cultural heritage*) und kultureller Hinterlassenschaft (*cultural inheritance*) zu unterscheiden. Mit der kulturellen Hinterlassenschaft meine ich das Wissen, das zu den Objekten und der Praxis gehört, selbst aber bereits Teil des zu bewahrenden Kulturerbes ist. Es umfasst unter anderem die teilweise umfangreichen textuellen und visuellen Dokumentationen von Monumenten oder ritueller Praxis. Diese zum Teil weit zurückreichenden Dokumentationen der Objekte und der Praxis in Form von Aufzeichnungen, Feldnotizen, Fotoarchiven und vielem mehr drohen wie die Monumente und die kulturelle Praxis vergessen zu werden oder, noch schlimmer, ebenfalls zu verfallen. Für Nepal sind das zum Beispiel

# „Kulturerbe kann Motor für Erneuerung und für kritische Antworten auf brisante gegenwärtige Herausforderungen sein.“

ausführliche Aufnahmen von Urbanisierungen und Gletscherbewegungen des Kartographen Erwin Schneider aus den 1960er-Jahren, zahlreiche Fotoarchive von Mitarbeitern in Entwicklungshilfeprojekten aus den 1950er- und 1960er-Jahren (und früher) oder detaillierte Aufzeichnungen von Architekten.

Ein notwendiger Teil der Arbeit am Kulturerbe ist daher die Aufarbeitung und Einbeziehung der Arbeiten derjenigen, die noch nicht über die heutigen digitalen Werkzeuge verfügten. Im NHDP geschieht das mit lokalen Experten und anderen Mitgliedern der Gesellschaft. In dieser Kollaboration kann dafür gesorgt werden, dass kulturelles Erbe weder Vermarktung für Touristen und „Museumifizierung“ der lebendigen Kultur bedeutet noch Politisierung ethnischer oder nationalistischer Polemiken werden muss. Vielmehr kann Kulturerbe so auch Motor für Erneuerung und für kritische Antworten auf brisante gegenwärtige Herausforderungen sein. ●



MOLEKULARBIOLOGIE  
**WERKZEUG GENSCHERE**  
PRÄZISE SCHNITTE INS ERBGUT  
MICHAEL BOUTROS

**80**



NEUROMORPHES RECHNEN  
**VORBILD NATUR**  
WIE MASCHINEN DAS LERNEN LERNEN  
JOHANNES SCHEMMEL

**88**



MATHEMATISCHE PHYSIK  
**ANNÄHERUNG**  
DUALITÄTEN IN MATHEMATIK UND PHYSIK  
JOHANNES WALCHER

**96**



BIOPHYSIK  
**AUS DEM BAUKASTEN DER MOLEKULAREN INGENIEURE**  
AUF DEM WEG ZUR SYNTHETISCHEN ZELLE  
KERSTIN GÖPFRICH, ILIA PLATZMAN & JOACHIM P. SPATZ

**106**

# KAPITEL



**WERKZEUG**

**GENSCHERE**



WERKZEUG GENSCHERE

# PRÄZISE SCHNITTE INS ERBGUT

MICHAEL BOUTROS

**Wie kaum eine andere Technik haben molekularbiologische Instrumente wie die „Genschere“ CRISPR/Cas und verwandte Methoden zur Genomeditierung die Lebenswissenschaften verändert. Mit ihrer Hilfe lässt sich Erbgut ausschneiden, verändern und wieder einbauen. Das bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, auch beim Menschen – und wirft zahlreiche ethische und rechtliche Fragen auf. Nötig ist daher eine breite gesellschaftliche Diskussion, die Chancen und Risiken gleichermaßen sorgfältig abwägt.**

# M

Mehr als drei Milliarden „Buchstaben“ des Erbmoleküls DNA sind in jeder einzelnen unserer 100 Billionen Zellen enthalten, meist in doppelter Ausführung. Das gesamte Erbgut einer Zelle – das Genom – wird fortlaufend kopiert, abgelesen und modifiziert. Die Reihenfolge der Buchstaben („Basenpaare“) der DNA sowie der Ort und der Zeitpunkt ihres Ablesens bestimmen die Identität einer Zelle.

Die Erforschung des Genoms hat fundamentale Einblicke in die komplexe Informationsfülle der Zelle ermöglicht: Das Lesen von Genomen hat dazu beigetragen, dass wir Krankheiten besser verstehen, evolutionäre Zusammenhänge nachvollziehen und das Zusammenwirken von Genen und Umwelt erkennen können. Methoden, mit denen man Genome bearbeiten kann, gibt es schon seit rund einem halben Jahrhundert. Die neuen molekularbiologischen Werkzeuge zur

Genomeditierung aber – allen voran die „Genschere“ CRISPR/Cas – ermöglichen Eingriffe in das Erbgut mit bislang ungeahnter Präzision und Effizienz. Das eröffnet neue Chancen der Anwendung, etwa in der Biotechnologie zum Herstellen von Medikamenten oder in der Medizin, um schwere Krankheiten zu heilen. Zugleich werfen die neuen Methoden zahlreiche ethische und rechtliche Fragen auf.

## Lesen im Erbgut

Noch bis vor zwei Jahrzehnten war es mit erheblichem Aufwand verbunden, die Buchstaben im Buch des Lebens zu lesen, also die Reihenfolge (Sequenz) der Basenpaare der DNA zu bestimmen, fachsprachlich „Sequenzierung“ genannt. Das erste Genom, das vollständig entziffert wurde, war im Jahr 1997 das eines Bakteriums. Kurz darauf folgten im Jahr 1998 die rund 100-fach größeren Genome des Fadenwurms „Caenorhabditis elegans“ und im Jahr 2000 die Genome der Ackerschmalwand „Arabidopsis thaliana“ und der Fruchtfliege „Drosophila melanogaster“, drei in der genetischen Forschung beliebten Modellorganismen. Eine erste Version des menschlichen Genoms wurde im Jahr 2003 veröffentlicht – ein internationales, mit mehreren Hundert Millionen US-Dollar ausgestattetes Unterfangen. Heute kann die komplette Sequenzierung eines menschlichen Genoms innerhalb von Tagen und zu Kosten von wenigen Tausend Euro erfolgen.

# „Die Möglichkeiten zur Genomeditierung werfen zahlreiche ethische und rechtliche Fragen auf.“

Zwischenzeitlich hat das Lesen von Genomen Einzug in die klinische Anwendung gehalten, zum Beispiel zur Diagnose von Krebs oder von seltenen Erbkrankheiten. Auch Studien, die genetische Risikofaktoren für Krankheiten identifizieren wollen, nutzen zunehmend und in großem Maßstab die Genomsequenzierung. Ein Beispiel ist ein Projekt in Großbritannien, das darauf zielt, nahezu 100.000 menschliche Genome zu lesen und auszuwerten. Andere Projekte wollen mehr als eine Million Genome sequenzieren, um genetische Varianten in sehr hoher Auflösung zu katalogisieren. In einem weiteren Projekt soll der Vergleich des Erbguts vieler unterschiedlicher Organismen es möglich machen, anhand genetischer Informationen einen „Tree of Life“ zu erstellen.

## Schreiben im Erbgut

Molekularbiologische Instrumente – sogenannte Genschere –, mit denen DNA-Sequenzen verändert werden können, gibt es seit fünf Jahrzehnten. Es handelt sich dabei um Nukleasen (Enzyme), die DNA (Nukleinsäuren) an bestimmten Stellen abbauen oder „schneiden“ können. Sie wurden einst in Bakterien entdeckt, ihre Weiterentwicklung war die Grundlage für ihren Einsatz in vielen biotechnologischen Prozessen, sei es in der „roten“ medizinischen Biotechnologie, um neue therapeutische und diagnostische Verfahren zu entwickeln, oder in der „grünen“ Biotechnologie, um Nutzpflanzen zu verbessern oder pflanzliche Inhaltsstoffe zu gewinnen. Das Erbgut von Mikroorganismen, pflanzlichen und tierischen Zellen wird dazu mithilfe von Nukleasen verändert. Wenn es aber um die Modifikation

sehr großer Genome ging, erwiesen sich die bisherigen Verfahren häufig als zu ungenau und zu kompliziert. Mit der Entdeckung der Genschere CRISPR/Cas9, kurz CRISPR, hat sich das geändert.

„CRISPR“ ist die Abkürzung für „Clustered regularly interspaced short palindromic repeats“, kurze Wiederholungssequenzen, die durch andere Erbgutstücke getrennt sind und im Genom an bestimmten Stellen gehäuft auftreten. Abschnitte sich derart wiederholender DNA (Repeats) wurden erstmals in den 1990er-Jahren in Bakterien entdeckt. Damals konnten sich die Wissenschaftler dieses auffällige Sequenzmuster nicht erklären. Als Forscher vor rund 15 Jahren erkannten, dass die Wiederholungssequenzen dem Erbgut von Viren ähneln, die speziell Bakterien infizieren, entstand die Hypothese, dass die CRISPR-Sequenzen eine wichtige Aufgabe im Immunsystem von Bakterien erfüllen könnten. In weiteren Forschungsarbeiten wurden sogenannte Cas-Proteine (CRISPR-assoziierte Proteine) als diejenigen identifiziert, die notwendig für die Immunität der Bakterien gegenüber Viren sind. Schließlich ließ sich folgender Zusammenhang aufklären: Zwei kleine Moleküle (eine „CRISPR-targeting RNA“ und eine „transaktivierende RNA“) bewirken zusammen mit dem Cas9-Protein, dass Gene von Viren zielgenau inaktiviert werden können. In den folgenden Jahren wurde das CRISPR/Cas9-System so modifiziert, dass es verwendet werden konnte, um die Genome verschiedener Organismen gezielt zu bearbeiten und Änderungen auch in großen Genomen wie dem des Menschen vorzunehmen. Weitere ähnlich programmierbare „Genschere“ wurden entdeckt, und mittlerweile ist ein breites Spektrum an Werkzeugen zur Genomeditierung verfügbar. Der besondere Erfolg von CRISPR/Cas9 und verwandten Werkzeugen beruht darauf, dass sie vergleichsweise einfach für definierte Zielsequenzen in Genomen synthetisch hergestellt werden können und dass sie sich sehr flexibel in verschiedensten Organismen einsetzen lassen, angefangen von einfachen Bakteriengenomen bis hin zu komplexen Genomen.

Die Zielgenauigkeit der neuen Erbgut-Bearbeitungssysteme stellt alle vorherigen gentechnologischen Verfahren in den Schatten. Das eröffnet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. In der Medizin etwa wird der Einsatz von CRISPR/Cas bei der „ $\beta$ -Thalassämie“ erprobt, einer schweren erblichen Blutkrankheit. Die Vorstellung dabei ist es, dem Körper Blutzellen zu entnehmen, die krankhaft veränderten Gene mit CRISPR/Cas zu reparieren, dem Patienten zurückzuführen und ihn so zu heilen. Auch schwere Immunerkrankungen hofft man eines Tages mit einer derartigen „somatischen“ – die Zellen des Körpers (altgriechisch „soma“) betreffenden – Gentherapie heilen zu können. In der Krebsmedizin wird CRISPR/Cas erprobt, um Immunzellen gleichsam „scharf zu schalten“, damit sie entartete Zellen gezielter angreifen und entschlossener abtöten. Erste

klinische Versuche mit diesen allesamt hochemperimentellen Ansätzen erfolgen weltweit. Ob die Studien erfolgreich sein werden, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht beurteilen.

### Umstrittene Eingriffe in die Keimbahn

Der Einsatz von CRISPR/Cas in der somatischen Gentherapie ist ethisch insgesamt wenig umstritten. Anders sieht es mit Eingriffen in die menschliche Keimbahn aus. Man spricht von „Keimbahn-Gentherapie“, weil Gene in befruchteten Eizellen (Keimzellen) verändert werden. Ende des Jahres 2018 stellte – trotz des weltweiten Rufs nach einem Mora-

torium – ein chinesischer Forscher auf einer internationalen Konferenz erste Versuche zum Eingriff mit CRISPR/Cas in die menschliche Keimbahn vor, bei denen ein Gen verändert wurde, das eine Rolle bei der HIV-Infektion spielt. Diese ersten Versuche am Menschen waren zuvor nicht von einer Ethikkommission genehmigt worden, sind bislang nicht publiziert und wurden weltweit verurteilt. Der deutsche Ethikrat hat eine ausführliche Stellungnahme zum Einsatz von CRISPR/Cas und anderen gentechnischen Methoden in der menschlichen Keimbahn erstellt. Auch an der Universität Heidelberg fanden im Rahmen des Marsilius-Kollegs zahlreiche Veranstaltungen statt – von öffentlichen Diskussionsforen („Dürfen wir Menschen designen?“) über eine Winterschule mit jungen Wissenschaftlern aus aller Welt bis hin zu einem Symposium zur Regulierung von Eingriffen in die menschliche Keimbahn im internationalen Kontext. Am Marsilius-Kolleg nahm zudem das EURAT-Projekt seinen Ausgang, das sich mit Fragen zu den ethischen und rechtlichen Aspekten der Totalsequenzierung des menschlichen Genoms beschäftigt (siehe Infobox zum Expertengespräch auf Seite 10).

Auch wenn der Eindruck entstehen könnte, dass wir mit CRISPR/Cas ein ausgereiftes Werkzeug zur Genombearbeitung in der Hand halten, verstehen wir viele der zugrunde liegenden biologischen Prozesse bisher nur

### Netzwerkfehler mit schwerwiegenden Folgen

Mit sogenannten Wnt-Signalwegen, die eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Organismen und der Entstehung von Krankheiten beim Menschen spielen, beschäftigt sich seit Juli 2017 der Sonderforschungsbereich 1324 „Mechanismen und Funktionen des Wnt-Signalwegs“ an der Universität Heidelberg. Wnt-Proteine und die davon abhängigen molekularen Mechanismen sind bereits sehr früh in der Evolution der Tiere entstanden und spielen auch beim Menschen eine große Rolle. Als universelle Entwicklungsfaktoren regulieren sie die Entstehung von Organen und Nervengewebe und sind an der Herausbildung der Körperachsen im Embryo beteiligt. Treten in dem zeitlich und räumlich fein abgestimmten Wirkmuster des Signalnetzwerkes Fehler auf, sind schwere Erkrankungen wie Krebs die Folge.

Ziel des Sonderforschungsbereichs ist es, die molekularen Mechanismen des Wnt-Signalwegs mithilfe biochemischer, genetischer und mathematischer Ansätze zu entschlüsseln. Dafür wird in interdisziplinären Ansätzen ein großes Spektrum von Modellsystemen mit neuesten Technologien kombiniert, unter anderem hoch entwickelte Fluoreszenz-Mikroskopie, genetische Screens und Genomeditierung. Beteiligt sind Forscherinnen und Forscher des Biochemie-Zentrums, des Centre for Organismal Studies, des Instituts für Angewandte Mathematik sowie der Medizinischen Fakultäten in Heidelberg und Mannheim. Ebenso wirken Wissenschaftler des Deutschen Krebsforschungszentrums und des European Molecular Biology Laboratory sowie des Karlsruher Instituts für Technologie und der Universitätsmedizin Göttingen mit. Sprecher ist Prof. Dr. Thomas Holstein vom Centre for Organismal Studies. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert den 16 Teilprojekte umfassenden SFB mit rund 8,5 Millionen Euro.

[www.sfb1324.de](http://www.sfb1324.de)

„Die Präzision der neuen Bearbeitungssysteme stellt alle vorherigen gentechnologischen Verfahren in den Schatten.“



**PROF. DR. MICHAEL BOUTROS** leitet seit 2008 die Abteilung „Signalwege und Funktionelle Genomik“ am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) und ist Professor für Zell- und Molekularbiologie an der Universität Heidelberg. Zuvor forschte er an der Harvard Medical School in Boston (USA), dem European Molecular Biology Laboratory (EMBL) und dem Cold Spring Harbor Laboratory in New York (USA). Seine Forschung beschäftigt sich mit den Mechanismen und der Wirkung von Signalwegen, die während der Entwicklung und bei der Entstehung von Krebs eine Rolle spielen. Er ist Vize-Sprecher des Sonderforschungsbereichs 1324 „Mechanismen und Funktionen des Wnt-Signalwegs“, an dem er ein Projekt zu CRISPR/Cas9-Genomeditierung leitet, und Fellow an der Max Planck School Matter To Life. Michael Boutros' Forschungen zu genetischen Interaktionen wurden von 2012 bis 2018 mit einem Advanced Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) mit 2,5 Millionen Euro gefördert, seit 2019 werden seine Forschungen zu kontextabhängigen genetischen Netzwerken mit einem ERC Synergy Grant unterstützt. 2016/17 war er Fellow am Marsilius-Kolleg der Universität Heidelberg.

Kontakt: [boutros@uni-heidelberg.de](mailto:boutros@uni-heidelberg.de)

unzureichend. Die Wissenschaft weiß inzwischen recht viel über die Spezifität der beteiligten Enzyme – der biologische Prozess aber, der etwa dafür sorgt, dass die DNA-Enden nach dem Schnitt der CRISPR-Genschere wieder korrekt zusammgefügt werden, ist bislang nur unvollständig verstanden. Kürzlich veröffentlichte wissenschaftliche Studien zeigen, dass „On-Target-Fehler“ zu unbeabsichtigten Effekten führen können, wie beispielsweise größeren Verlusten an Genmaterial (Deletionen). Diese Studien machen auch deutlich, wie wichtig weitergehende Forschungsarbeiten sind, um die mithilfe von CRISPR/Cas erzeugten Änderungen in Genomen umfassend zu charakterisieren und damit einen zielgenauen Einsatz zu ermöglichen. Insbesondere dann, wenn es um den Einsatz der CRISPR/Cas-Methode zur somatischen Gentherapie beim Menschen geht, ist es unerlässlich, vorab alle beteiligten biologischen Prozesse intensiv zu untersuchen und tief greifend zu verstehen.

#### Was geschieht in Heidelberg?

In der Grundlagenforschung hat CRISPR/Cas wie kaum eine andere Methode die Herangehensweise und die Möglichkeiten zur Erforschung der Funktion von Genen verändert. Seit ihrem ersten Einsatz 2013 haben sich die Methoden der Genomeditierung zu einem machtvollen Werkzeug weiterentwickelt, um mit gezielten Änderungen die Zusammenhänge zwischen Genotyp und Phänotyp systematisch zu untersuchen und die Funktion von Genen aufzuklären. Die nachfolgend beschriebenen drei Beispiele sollen den Einsatz von „CRISPR“ in Heidelberger Forschungsprojekten illustrieren.

In der funktionellen Genomforschung ist die systematische Charakterisierung von Genen und deren Zusammenspiel eine wichtige Fragestellung. Mit CRISPR/Cas lassen sich beispielsweise in Zellkulturmodellen bestimmte genetische Veränderungen (Mutationen) „nachbauen“, von denen angenommen wird, dass sie beim Entstehen von Krebs eine Rolle spielen. So treten bei circa 80 Prozent aller Darmkrebspatienten verschiedene Mutationen im sogenannten APC-Gen auf. Die krankhaften Veränderungen des Gens lassen sich zu Forschungszwecken mittels der CRISPR/Cas-Methode in gesunde Zellen einfügen und die Auswirkungen der Genmutationen somit studieren. Die Zellkulturmodelle können ebenso verwendet werden, um weitere Gene – oder kleine chemische Moleküle – zu identifizieren, die den Effekt der Mutation abschwächen. All dies trägt dazu bei, die vom APC-Gen verursachten biochemischen Veränderungen, die Krebszellen zu unkontrolliertem Wachstum antreiben, besser zu verstehen und neue therapeutische Ansätze zu entwickeln.

Im Rahmen des vom Europäischen Forschungsrat (ERC) geförderten Projektes DECODE soll mithilfe von CRISPR/Cas zunächst in Modellorganismen – der Fruchtfliege *Drosophila* und der Ackerschmalwand *Arabidopsis* –

systematisch der Einfluss von Genen und deren Interaktion mit der Umwelt untersucht werden. Am DECODE-Projekt sind die Universität Heidelberg, das European Molecular Biology Laboratory (EMBL) und das Deutsche Krebsforschungszentrum (DKFZ) beteiligt – drei Institutionen, die in Heidelberg über den Forschungsraum der Exzellenzstrategie miteinander verbunden sind. Während des Projektes sollen zunächst einzelne Gene und sodann Genkombinationen mit CRISPR/Cas ausgeschaltet werden. Das Ziel ist, genetische Netzwerke vorherzusagen und einen Atlas der Genaktivitäten zu erstellen.

Ein drittes Beispiel ist die Verwendung von CRISPR/Cas, um die molekularen Signalwege im Innern der Zellen zu erforschen. Mehrere Projekte in Heidelberg beschäftigen

#### Schaltpläne für Genaktivitäten

Die Grundlage für hochkomplexe Schaltpläne der Genaktivitäten in vielzelligen Organismen zu legen ist das Ziel des Forschungsprojekts DECODE (Decoding Context-Dependent Genetic Networks in vivo), an dem Wissenschaftler der Universität Heidelberg, des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ) und des European Molecular Biology Laboratory (EMBL) beteiligt sind. Das DECODE-Projekt, das der Europäische Forschungsrat (ERC) mit einem ERC Synergy Grant fördert, vereint Expertise im Bereich der Einzelzellanalysen und des Genome Engineering mit hochkarätiger Bioinformatik. Es wird über sechs Jahre mit 10,6 Millionen Euro unterstützt. Neben Prof. Dr. Michael Boutros vom DKFZ gehören dem Forscherteam Prof. Dr. Jan Lohmann von der Universität Heidelberg, Dr. Wolfgang Huber vom EMBL sowie Dr. Oliver Stegle (DKFZ / EMBL) an.

Veränderungen in einer Erbanlage wirken sich häufig auf die Aktivität einer Vielzahl anderer Gene aus – mit weitreichenden Folgen. Das Zusammenspiel sehr vieler Genaktivitäten macht die Identität einer Zelle aus und entscheidet letztlich darüber, ob beispielsweise eine Nervenzelle oder ein weißes Blutkörperchen entsteht – bei weitestgehend identischem Erbgut. Schaltpläne, die die Gesamtheit solcher genetischen Abhängigkeiten abbilden, wurden zunächst für Einzeller wie Hefe erstellt, später in der Kulturschale auch für Zellen höherer Organismen. Nun besteht die Herausforderung darin, solche Analysen auf die teilweise kompliziert aufgebauten Gewebe von Vielzellern auszuweiten, die meist aus verschiedenen Zelltypen bestehen, sich im Lauf des Lebens weiterentwickeln und auf veränderte Umweltbedingungen reagieren müssen. Mit DECODE wollen die Forscher den Beweis antreten, dass dies möglich ist.

GENETIC SCISSORS

# PRECISION CUTS IN OUR DNA

MICHAEL BOUTROS

CRISPR/Cas and related methods for genome editing have changed the life sciences like no other previously known technology. These new tools allow scientists to make complex modifications to the genome of organisms in order to study the function of genes or replace abnormal genes with healthy ones (gene therapy). We expect the development of these methods to continue at a breakneck pace in the coming years, permitting ever more targeted interventions in the genome. Progress in the reading – and rewriting – of genomes will go hand in hand with this development. That is why the new applications require extensive public discussion in order to weigh the opportunities against the risks.

Until just two decades ago, determining the sequence of the base pairs in a DNA molecule took a great deal of time and effort. The first full sequencing of a genome – belonging to a bacterium – dates back to 1997. The first version of a human genome was published in 2003 – an international undertaking that cost several hundred million US dollars. Today a human genome can be fully sequenced within days, at a cost of a few thousand euros.

Investigations into the genome have yielded fundamental insights into the sheer amount and complexity of information contained in a cell: being able to read genomes helps us to better understand illnesses, trace evolutionary pathways and detect interactions between genes and the environment. Methods of altering genes have existed for roughly half a century. But the new molecular biological tools for genome editing – led by the CRISPR/Cas “gene scissors” – permit direct interventions in the genome. They open up new possibilities of application, e.g. in biotechnology, with the formulation of new drugs, or in medicine, where they might help us cure serious illnesses. At the same time, however, the new tools raise numerous ethical and legal questions. ●

PROF. DR MICHAEL BOUTROS is a professor of cell and molecular biology at Heidelberg University and has been heading the Division of Signaling and Functional Genomics at the German Cancer Research Center (DKFZ) since 2008. He previously worked as a researcher at Harvard Medical School in Boston (USA), the European Molecular Biology Laboratory (EMBL) and the Cold Spring Harbor Laboratory in New York (USA). His research focus is the mechanisms and effect of signaling pathways that play a role in development and in the formation of cancer. He is the vice speaker of Collaborative Research Centre 1324 "Mechanisms and functions of Wnt signaling", where he heads a project on genome editing with CRISPR/Cas9, and a fellow at the Max Planck School Matter To Life. Between 2012 and 2018, Michael Boutros' research on genetic interactions was funded through an Advanced Grant of the European Research Council (ERC) to the amount of 2.5 million euros; in late 2018 he and his team won an ERC Synergy Grant to support his work on context-dependent genetic networks from 2019 onward. In 2016/17 he was a fellow of the Marsilius Kolleg of Heidelberg University.

Contact: [boutros@uni-heidelberg.de](mailto:boutros@uni-heidelberg.de)

**“The precision of the new genome editing tools leaves all previous genetic engineering methods behind.”**

sich im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereichs 1324 „Mechanismen und Funktionen des Wnt-Signalwegs“ mit der Markierung von Proteinen, die am zellulären Wnt-Signalweg beteiligt sind. Mit CRISPR/Cas lassen sich auf Genomebene fluoreszierende Markerproteine – etwa das grün leuchtende Protein GFP – an Signalmoleküle in menschlichen Zellkulturen koppeln. Damit gelingt es, die räumliche und zeitliche Verteilung der Signalwegsaktivität sowie biophysikalische Eigenschaften auf der Ebene der einzelnen Moleküle zu erfassen.

#### **Rasante Entwicklungen**

Die Entdeckung und Anwendung von CRISPR/Cas und verwandten Genomeditierungsverfahren hat die Lebenswissenschaften in den vergangenen Jahren wie kaum

eine andere Technologie verändert. Mit ihrer Hilfe lassen sich in Genomen von Organismen komplexe Änderungen durchführen, um die Funktion von Genen zu studieren oder sie durch andere Gene zu ersetzen. Die Entwicklungen in diesem Bereich sind rasant, und es ist zu erwarten, dass diese Technologien auch in den kommenden Jahren weiter voranschreiten werden, unter anderem, um sie noch zielsicherer zu machen. Die weit fortgeschrittenen Technologien für das Ablesen der Genome dienen als Grundlage für die Durchführung von Genomeditierungen – die Fortschritte von Lesen und Schreiben im Genom werden weiterhin Hand in Hand gehen. Neue Anwendungsmöglichkeiten werden auch eine breite gesellschaftliche und auch internationale Diskussion erfordern – die Möglichkeiten und Risiken müssen wir dabei sorgfältig abwägen. ●

**„Weitere Forschungsarbeiten sind unerlässlich, um alle an der Genombearbeitung beteiligten biologischen Prozesse tief greifend zu verstehen.“**

**VORBILD**

**NATUR**



VORBILD NATUR

# WIE MASCHINEN DAS LERNEN LERNEN

JOHANNES SCHEMME

**Eine der herausragendsten Leistungen des menschlichen Gehirns ist seine Lernfähigkeit. Das Ziel des „neuromorphen Rechnens“ ist es, diese fundamentale Hirnfunktion auf Maschinen zu übertragen.**

# V

Vom mittelalterlichen Golem bis zum Terminator, von Metropolis bis „Wall-E“ – das menschliche Gehirn zu verstehen, sich seine Eigenschaften nutzbar zu machen und unbelebte Materie mit menschlichen Fähigkeiten auszustatten, ist ein häufig von der Literatur aufgegriffenes, meist bedrohliches, oft nützliches, stets aber faszinierendes Thema. Wie realistisch sind diese Ideen in heutiger Zeit? Und welche Möglichkeiten haben wir überhaupt, ein derart komplexes System wie das Gehirn zu erforschen? Nur auf den ersten Blick erscheint das Gehirn als dankbares Forschungsobjekt: Es hat eine handliche Größe, und solange sich die Wissenschaftler mit Maushirnen begnügen, mangelt es auch nicht an Untersuchungsmaterial. Die wahren Bedingungen der Hirnforscher sehen aber anders aus. Das Gehirn ist mit mehr als 100 Milliarden Nervenzellen das komplexeste Organ des Menschen, nur im lebenden Organismus kann man es bei der Arbeit beobachten. Dabei wird rasch eine seiner wesentlichsten Eigenschaften deutlich: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Das Gehirn ist nicht nur eine Ansammlung von zig Milliarden Nervenzellen – es sind die komplexen Verschaltungen der Nervenzellen untereinander, die uns denken und lernen lassen.

**„Das Gehirn ist nicht einfach nur eine Ansammlung von zig Milliarden Nervenzellen – vor allem die komplexe Verschaltung der Nervenzellen untereinander ist es, die uns denken und lernen lässt.“**

Am Anfang der Entwicklung entsteht das Gehirn aus einer einzigen Zelle. Es muss also Regeln geben, die steuern, wie die Nervenzellen während der Embryonalentwicklung zusammenspielen. Diese Regeln können nach heutigem Stand des Wissens nur in unseren Erbanlagen gespeichert sein. Man nimmt an, dass rund ein Drittel der circa 20.000 Gene des menschlichen Erbguts für die Hirnentwicklung benötigt wird – schon allein das weist auf die außerordentliche Komplexität des Organs hin. Wie also kann man sich an diese außerordentliche biologische Komplexität mit dem Ziel heranwagen, Denkvorgänge von Maschinen nachahmen zu lassen, also eine „Künstliche Intelligenz“ (KI) zu erzeugen?

#### **Übernahme von Prinzipien der Natur**

Schon heute wartet die Künstliche Intelligenz mit durchaus beeindruckenden Resultaten auf, etwa mit Siegen von Maschinen über die besten menschlichen Schachspieler. Aber nicht nur traditionelle Brettspiele wie Schach oder Go, auch moderne computergestützte Echtzeitstrategie-spiele können von Maschinen erfolgreich bestritten werden. Das haben Forscher der Firma Alphabet, der Muttergesellschaft der Suchmaschine Google, kürzlich eindrucksvoll anhand des Spiels „Starcraft“ demonstriert. KI-Systeme können Fahrzeuge nahezu unfallfrei durch dichten Verkehr lenken oder Personen in den Live-Videodaten Tausender Überwachungskameras identifizieren. All das sind Beispiele für Leistungen maschinellen Lernens, die es bereits heute gibt. Was der Künstlichen Intelligenz zu diesem Durchbruch verholfen hat, war die Übernahme von Prinzipien der Natur. Dazu gehört das Konzept des mehrlagigen Nervennetzes, dessen Nachahmung es möglich macht, selbst komplizierteste Zusammenhänge näherungsweise zu berechnen. Auch die Beobachtung, dass die Berechnungen eng mit dem dazu nötigen Speicher verknüpft sein müssen, zählt dazu – sonst wird der Transport der Daten zum Flaschenhals. So betrachtet, beruhen die Fortschritte der Künstlichen Intelligenz also vor allem auf der Imitation biomorpher Entwurfsprinzipien.

Als die ersten wissenschaftlichen Grundlagen für die aktuell verwendeten maschinellen Lernverfahren in den 1950er-Jahren entwickelt wurden, hatte man nur grobe Vorstellungen davon, wie das Lernen im Gehirn auf der Ebene der Nervenzellen (Neuronen) funktioniert. Die Algorithmen, die daraus resultierten, sind unzweifelhaft sehr leistungsfähig – ebenso unzweifelhaft ist aber auch, dass diese Verfahren so, wie sie heutzutage implementiert sind, in der Natur nicht vorkommen. Auf diesem Manko, könnte man spekulieren, beruhen viele der Beschränkungen, denen die Künstliche Intelligenz heute noch unterliegt. Eine typische Schwachstelle von KI-Systemen ist beispielsweise ihre Abhängigkeit von einer riesigen Menge an Lernbeispielen, eine weitere Schwäche ist ihre mangelnde Fähigkeit zu abstrahieren oder korrekt zu verallgemeinern. Auch die fehlende Einbettung

in einen kontinuierlichen Zeitablauf ist ein Defizit aktueller KI-Systeme: Nur dann können das Lernen, die Anpassung an die Umgebung und das Handeln eng miteinander verwoben und von einem gemeinsamen inneren Zustand bestimmt und koordiniert werden. Erst wenn Maschinen diese Fähigkeiten besitzen, wird es ihnen möglich, selbstständig komplexe Aufgaben in einer natürlichen Umwelt zu übernehmen.

#### **Künstliche neuronale Systeme**

Wie kann man diese Schwachstellen angehen und lösen? Wir setzen in unserer Arbeitsgruppe auf das „neuromorphe Rechnen“, eine Forschungsrichtung, deren Grundannahme es ist, dass man das natürliche Vorbild nur genau genug studieren und die Mechanismen der Natur nur gut genug verstehen muss, um Antworten zu erhalten. Das Ziel des neuromorphen Rechnens ist es, das komplette Wissen über die Funktion des natürlichen Nervensystems auf künstliche neuronale Systeme zu übertragen – eine derart maximal biologisch inspirierte Künstliche Intelligenz sollte idealerweise überlegene Ergebnisse zeigen.

Es gibt allerdings auch gute Gründe, warum andere KI-Forscher mehr auf herkömmliche Methoden setzen, anstatt wie wir die Kenntnisse der Neurowissenschaften einzubeziehen. Einer dieser Gründe ist die komplexe Art und Weise, wie Nervenzellen in der Natur miteinander kommunizieren: Jede einzelne Nervenzelle nimmt Kontakt mit

rund tausend, manche gar mit Millionen weiteren Zellen auf. Wollte man dieses natürliche Verhalten mit Computersystemen nachbilden, müsste man für jedes Signal jeder Nervenzelle mindestens tausend Nachrichten abschicken und an die zugehörigen Empfängerzellen verteilen. Erschwerend hinzu kommt: Die natürliche Verknüpfung der Nervenzellen ist nicht statisch festgelegt, sondern ändert sich fortwährend. Jeden Tag werden in unserem Gehirn etwa zehn Prozent aller neuronalen Verbindungen aufgelöst und durch neue ersetzt. Welche der Verbindungen aufgelöst, welche schwächer oder stärker werden, bestimmen sehr viele äußere Bedingungen – welche das genau sind, verstehen wir bislang nur in Ansätzen. Was wir derzeit jedoch wissen, ist, dass die Signale kompletter Nervenzellpopulationen räumliche und zeitliche Muster bilden und dass das gezielte Umverdrahten der Verbindungen erlernt wird. Vor diesem Hintergrund lautet also die erweiterte Frage: Wie kann das neuromorphe Rechnen dazu beitragen, die Mechanismen des Lernens sowie den Auf-, Ab- und Umbau neuronaler Verbindungen zu verstehen?

#### **Die Heidelberger Neuromorphen Systeme**

Manche Wissenschaftler halten das neuromorphe Rechnen schlichtweg für einen überflüssigen Weg. Mit der stetigen Zunahme der Leistungsstärke von Großrechnern, lautet eines ihrer Argumente, würden die geschilderten Defizite von selbst verschwinden. Das letzte Jahrzehnt aber hat gezeigt, dass die in die Großrechner gesetzten Erwartungen

**„Die Heidelberger Neuromorphen Systeme bilden Strukturen des natürlichen Nervensystems ab und vollziehen das Lernen in einem verkleinerten Maßstab nach.“**

das technisch tatsächlich Mögliche weit überstiegen haben. Die Miniaturisierung der Elektronik, die Basis unserer Computertechnologie, hat sich erheblich verlangsamt – in Fachkreisen wird derzeit nicht mehr diskutiert, ob die Verkleinerung je ein Ende finden wird, sondern wann es soweit sein wird. Auch der Energieverbrauch der Schaltkreise nimmt schon seit geraumer Zeit nicht mehr so schnell ab, wie es notwendig wäre, wollte man an die Leistungssteigerungen der vergangenen Jahrzehnte anschließen.

Auch jenseits dieser Ressourcenaspekte halten wir das neuromorphe Rechnen für einen wegweisenden Ansatz, um eine biologisch inspirierte Künstliche Intelligenz zu realisieren. Es geht beim neuromorphen Rechnen darum, die aktuell bekannten biologischen Strukturen des Nervensystems möglichst unmittelbar auf elektronische Schaltungen zu übertragen. Es ist uns beispielsweise gelungen, einzelne Neuronen mitsamt ihren Synapsen – den Kontaktstellen zwischen Nervenzellen, an denen Impulse übertragen werden – als mikroelektronische Schaltungen auf Siliziumchips nachzubilden. Diese Schaltungen haben so viele Eigenschaften wie irgend möglich mit ihren natürlichen Vorbildern gemeinsam – in dem physikalischen Modell steckt das komplette, dem heutigen Stand der Forschung entsprechende biologische Wissen. Die Beschränkungen des derzeit Machbaren werden dabei teilweise von der Neurowissenschaft, teilweise von der Mikroelektronik vorgegeben: So erlaubt es die Mikroelektronik nicht, die für das Lernen verantwortlichen Nervenzellverschaltungen in ihrer vollen Komplexität nachzubauen – dafür ermöglicht sie es, die Geschwindigkeit der natürlichen Vorgänge nicht nur nachzuahmen, sondern sogar signifikant zu beschleunigen.

### Hybrides Plastizitätsmodell

Beim Lernen können neuromorphe Systeme ihre Stärken am besten ausspielen: Erkenntnisse, die Neurowissenschaftler bei der Erforschung der Lernfähigkeit des Gehirns und der Verschaltung von Neuronen gewonnen haben, lassen sich unmittelbar in elektronische Modelle übertragen und erproben. Unsere Forschergruppe hat ein „hybrides Plastizitätsmodell“ entwickelt, in das gleichermaßen Erkenntnisse der Neurowissenschaft, der Elektronik und der Informatik eingeflossen sind. Für jede mögliche Verbindung zwischen elektronischen Nervenzellen hält unser Plastizitätsmodell eine Schaltung bereit, um die Signalflüsse messen zu können. Ein herkömmliches Computersystem könnte diese Aufgabe niemals auch nur annähernd so effizient und kompakt ausführen. Alle Signale müssen dazu simultan überwacht werden – eine Aufgabe, welche die Natur problemlos auf Milliarden von Synapsen gleichzeitig beherrscht. Verglichen mit dem natürlichen Vorbild sind unsere derzeitigen elektronischen Systeme nur bescheidene Miniaturversionen. Im künftigen „Institut für Neuromorphes Computing“ der Universität Heidelberg sind jedoch je nach Ausbaustufe neuromorphe Systeme bis hin



**DR. JOHANNES SCHEMSEL** leitete an der Universität Heidelberg mehr als 15 Jahre die Forschungsgruppe „Electronic Vision(s)“ am Kirchhoff-Institut für Physik. Seit dem Tod von Prof. Dr. Karlheinz Meier im Herbst 2018 hat er kommissarisch dessen Professur für Experimentalphysik übernommen. Seine Forschungsinteressen umfassen gemischt analog-digitale VLSI-Systeme zur Informationsverarbeitung wie Bildsensoren, massives paralleles analoges Rechnen und künstliche neuronale Netze sowie die entsprechenden Entwurfsmethoden für gemischt analog-digitale Mikroelektronik. In den vergangenen Jahren hat er seine Forschung auf den Entwurf von Schaltungen zur Modellierung biologisch realistischer neuronaler Netzwerke mittels hochintegrierter Mikroelektronik fokussiert. Johannes Schemmel ist der Erfinder der beschleunigten analogen neuromorphen Hardwarearchitekturen „Spikey“ und „BrainScaleS“.

Kontakt: [schemmel@kip.uni-heidelberg.de](mailto:schemmel@kip.uni-heidelberg.de)

zu einer Billion Verbindungen möglich. Damit ließe sich das Lernen von komplexen Funktionen erproben, zum Beispiel von Bewegungsabläufen humanoider Roboter.

Entscheidend dafür ist: Die parallelen Messungen aller Signalflüsse zwischen Nervenzellen müssen von einem speziellen Rechnerkern innerhalb desselben Mikrochips

### Ein gemeinsames Dach für neuromorphes Computing

Im Rahmen des von der Europäischen Kommission geförderten Human Brain Project (HBP) ist an der Universität Heidelberg das European Institute for Neuromorphic Computing (EINC) entstanden. Mit einer Nutzfläche von rund 2.200 Quadratmetern, die auch eine große Maschinenhalle umfassen wird, wird das EINC-Gebäude Platz für Wissenschaftler am Kirchhoff-Institut für Physik bieten, die gemeinsam mit Kollegen aus verschiedenen Forschungseinrichtungen in Europa eine technologische Plattform für neuromorphes Rechnen realisieren. Das Human Brain Project will Funktionsprinzipien des menschlichen Gehirns nachbilden und mithilfe fundamental neuer Computerarchitekturen simulieren.

In diesem Rahmen startete im März 2016 am Kirchhoff-Institut für Physik das neuartige Computersystem „BrainScaleS“. Der unter Leitung des mittlerweile verstorbenen Prof. Dr. Karlheinz Meier entstandene neuromorphe Computer ist ein direktes physikalisches Abbild des biologischen Vorbildes, dessen Zellen, Verbindungen und Kommunikation durch analoge und digitale Schaltungen unter Verwendung moderner Mikroelektronik realisiert werden. Es besteht aus 20 Siliziumwafern mit insgesamt vier Millionen Neuronen und einer Milliarde synaptischer Verbindungen. Lern- und Entwicklungsprozesse können mit einem tausendfachen Beschleunigungsfaktor nachgeahmt werden, so dass die Simulation eines Tages auf 100 Sekunden komprimiert wird.

Parallel zum Start des Heidelberger „BrainScaleS“-Systems wurde an der Universität Manchester (Großbritannien) ein komplementäres System von vergleichbarer Größe mit dem Namen „SpiNNaker“ in Betrieb genommen. Zusammen bilden die beiden Systeme die „Neuromorphic Computing Platform“ des Human Brain Project. Die europäischen Entwicklungen basieren auf den Projekten FACETS und „BrainScaleS“, die von 2005 bis 2015 im Rahmen des Programms „Future Emerging Technologies“ (FET) von der Europäischen Kommission gefördert wurden, sowie auf dem britischen Projekt „SpiNNaker“.

MODELLED ON NATURE

# HOW MACHINES LEARN TO LEARN

JOHANNES SCHEMMELE

The brain of animals, including humans, is a very special part of nature. Its biological origins date back to the evolution of multicellular life on earth more than a billion years ago. Its future is uncertain, but with the theoretical possibilities of technologies yet to come, its current and future carriers may one day leave earth to settle new worlds throughout the Milky Way.

Scientists are trying to understand the mechanisms that allow our brain to give us so much control over our natural environment. An important step in this endeavour is the replication of some brain functions using computer systems. However, this technology is quickly stretched to its limits, not necessarily because today's computer systems cannot grasp the complexity of the human brain, but rather because the brain is not a static system since it continuously adapts to its environment.

To address this problem, Heidelberg researchers are developing neuromorphic systems that replicate the structures of the nervous system and allow us to track the brain's continuous adaptation to its environment – i.e. its learning processes – on a smaller scale. ●

**“Without the capacity to learn, the phenomenon of culture would not exist.”**

DR JOHANNES SCHEMMELE headed the research group “Electronic Vision(s)” at Heidelberg University’s Kirchhoff Institute for Physics for 15 years. Since the death of Prof. Karlheinz Meier in the autumn of 2018, he has temporarily taken over his late colleague’s Chair of Experimental Physics. His research interests include mixed analogue/digital VLSI systems for information processing such as image sensors, massive parallel analogue computing and artificial neuronal networks, as well as the corresponding design methods for mixed analogue/digital microelectronics. In the past few years, he has focused his research efforts on developing circuitry that models biologically realistic neuronal networks by means of highly integrated microelectronics. Johannes Schemmel is the inventor of the accelerated analogue neuromorphic hardware architectures “Spikey” and “BrainScaleS”.

Contact: [schemmel@kip.uni-heidelberg.de](mailto:schemmel@kip.uni-heidelberg.de)

verarbeitet werden. Nur dann kann der Rechnerkern die Messergebnisse für alle Signalflüsse schnell und direkt auswerten, ohne Informationen über Distanzen von mehr als einigen wenigen Millimetern austauschen zu müssen. Weil es sich bei unserem hybriden Plastizitätsmodell um einen frei programmierbaren Mikroprozessor handelt, können wir die Regeln bestimmen, nach denen die Verbindungen zwischen den Nervenzellen geändert werden sollen, und dabei stets den aktuellen Stand neurowissenschaftlicher Forschung berücksichtigen. Unsere Versuche haben zwischenzeitlich gezeigt, dass schon relativ einfache Regeln in kurzer Zeit zu stabilen Lernergebnissen und einem effizienten Nutzen vorhandener Verbindungen führen – wenn sie entsprechend ihrer biologischen Vorbilder die verschiedenen zeitlichen und räumlichen Strukturen in den Signalen berücksichtigen.

Das Lernen in den Heidelberger Neuromorphen Systemen ist „hybrid“ im wahren Sinne des Wortes: eine Mischung aus einer physikalischen und einer virtuellen Nachbildung der Natur. Mathematik und Ingenieurwesen, zwei grundlegende Kulturtechniken des Menschen, sind nötig, um dem Verständnis einer der fundamentalsten Fähigkeiten der belebten Natur einen Schritt näher zu kommen – den Prinzipien des Lernens von Nervensystemen. Genau diese Fähigkeit zum Lernen ist es, welche das Phänomen „Kultur“ überhaupt erst möglich macht. ●

**„Die Fähigkeit zum Lernen ist es, welche das Phänomen Kultur überhaupt erst möglich macht.“**

# ANNÄHERUNG



ANNÄHERUNG

# DUALITÄTEN IN MATHEMATIK UND PHYSIK

JOHANNES WALCHER

**Ein wichtiger Aspekt der mathematischen Beschreibung der Natur ist die Einsicht, dass sie nur annähernd ist – auf der Ebene der Entdeckung grundlegender Gesetze, der Lösung von Gleichungen und der Beziehungen zwischen verschiedenen Theorien. Neue Entdeckungen sind zu erwarten, wenn höhere Ordnungen in den kleinen Parametern, welche die Annäherungen bestimmen, nicht länger vernachlässigt werden können.**

„I am acutely aware of the fact that the marriage between mathematics and physics, which was so enormously fruitful in past centuries, has recently ended in divorce.“ So beschrieb der britisch-amerikanische Physiker und Mathematiker Freeman Dyson im Jahr 1972 das Verhältnis zwischen den beiden Disziplinen, zu denen er wie wenige andere seiner Zeitgenossen in vergleichbaren Teilen beigetragen hat. Er begründet seinen Scheidungsspruch mit einer Liste „verpasster Gelegenheiten“ für ein gegenseitiges Befruchten und mahnt sich selbst und nachfolgende Generationen, die Kommunikation wenigstens in einigen wichtigen Punkten gemeinsamer Leidenschaften nicht vollständig abbrechen zu lassen. Dyson schätzt, dass die Physik seiner Zeit, „verlottert und reizbar“, das schlechte Ende für sich behielt, während die Mathematik in „üppigem Wachstum“ davongeeilt ist.

Ironischerweise markieren gerade die frühen 1970er-Jahre den Beginn einer Periode, in der die Beziehung zwischen fundamentaler Physik und reiner Mathematik eine bemerkenswerte Verjüngung erfahren hat, die noch heute andauert. Im Zuge einer äußerst erfolgreichen experimentell getriebenen Phase der Entdeckung von elementaren Bau-

steinen der Natur und des Verständnisses ihrer Wechselwirkungen machten sich Physiker auf die Suche nach der nächsten Stufe der theoretischen Entwicklung, in der die gefundenen Zusammenhänge begründet und vervollständigt werden sollten. Sie fanden vielversprechende Ansätze wie die „Große Vereinheitlichung“, die „Supersymmetrie“ oder die „Stringtheorie“ und nutzten dazu eine Reihe moderner mathematischer Konstruktionen und Resultate. Überraschenderweise lieferte im Gegenzug die Anwendung physikalischer Methoden völlig unerwartete Antworten auf manche rein mathematischen Fragestellungen. Insbesondere haben die Entdeckung und das konsequente Ausnutzen von „Dualitäten“ – das sind verschiedene mathematische Approximationen ein und derselben physikalischen Theorie – zu tiefen strukturellen Einsichten in der Geometrie und Topologie geführt.

Und auch wenn die theoretische Physik aus dieser Wiederannäherung viele wichtige Erkenntnisse gewonnen und neue Prinzipien entdeckt hat, so scheint es wenigstens zurzeit doch wieder die Mathematik zu sein, die den größeren Nutzen hat. Die Vorstellungen zur Vereinheitlichung etwa sind experimentell noch nicht bestätigt worden. In unserer Arbeitsgruppe „Mathematische Physik“ am Mathematischen Institut untersuchen wir die in der Stringtheorie und der supersymmetrischen Quantenfeldtheorie auftretenden mathematischen Strukturen im Wechselspiel mit physikalisch motivierten Fragestellungen und halten Ausschau nach neuen, unerwarteten Anwendungen in der Mathematik. Diese Forschungen bilden auch den zentralen Teil des Anfang 2019 angelaufenen Exzellenzclusters „STRUCTUREN: Emergenz in Natur, Mathematik und komplexen Daten“ („STRUCTURES: A unifying approach to emergent phenomena in the physical world, mathematics, and complex data“).

## Eine ehrwürdige Beziehung

Auch nüchtern betrachtet ist die quantitative und objektive Naturbeschreibung eine der bemerkenswertesten Kulturleistungen der Neuzeit. Das systematische Isolieren und Präparieren der experimentellen Situation einerseits und das Entwickeln abstrakter theoretischer Begriffe andererseits erlaubt den Naturwissenschaften ein grundlegendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen verschiedenartigen Phänomenen. Dieses Verständnis ermöglicht auch oft eine meisterhafte Kontrolle über die Natur – mit einem erheblichen gesellschaftlichen Mehrwert (auch wenn diese Meisterschaft nicht eigentlich im Vordergrund der Forschung steht).

Diese Grundgedanken der modernen Naturwissenschaften sind vielleicht am deutlichsten in der Physik ausgeprägt. Um die ihrem Bereich zugeordneten Phänomene zu beschreiben, benutzt die Physik regelmäßig fortgeschrittene mathematische Konzepte und verlangt dabei die Lösung

# „Die quantitative und objektive Naturbeschreibung ist eine der bemerkenswertesten Kulturleistungen der Neuzeit.“

komplizierter mathematischer Probleme sowie die Entwicklung und Anwendung effizienter Rechenmethoden. Manchmal sogar erfordern es die Bedürfnisse der Physik, vollkommen neue mathematische Begriffe einzuführen, so dass sich große Teile beider Gebiete tatsächlich lange Zeit Hand in Hand entwickelt haben.

Ein erstes Beispiel für dieses Wechselspiel ist sicherlich die gleichzeitige Erfindung der Infinitesimalrechnung und der Mechanik durch Isaac Newton und Gottfried Wilhelm Leibniz. Die Erkenntnis, dass die Beschreibung von Naturvorgängen sich erheblich vereinfacht, wenn man die Änderung der Bewegungszustände mit der Zeit in den Vordergrund stellt, erfordert im mathematischen Bild die Einführung und den Umgang mit intuitiv schwer fassbaren „beliebig kleinen“ Größen.

Nicht weniger charakteristisch ist die Verallgemeinerung der „Riemannschen Geometrie“ in der Einsteinschen Relativitätstheorie. Die ursprüngliche Motivation des deutschen Mathematikers Bernhard Riemann war die zeitgemäße Frage, inwiefern die mathematischen Begriffe, die seit Euklid zur Formalisierung empirischer geometrischer Tatsachen benutzt wurden, logisch zwingend sind – oder ob sich nicht vielmehr auf andere Hypothesen genauso konsistente Theorien stützen ließen. Rein abstrakt ist dies der Fall. Einiges später bemerkte Albert Einstein, dass die Koordination physikalischer Ereignisse in Raum und Zeit zunächst tatsächlich ohne solche Hypothesen auskommt. Der Vergleich mit empirischen Kenntnissen über die Schwerkraft erlaubte ihm dann die Einführung dynamischer Prinzipien für das Gefüge der Raumzeit an sich.

## Ein ausgeglichenes Verhältnis

Dass sich Naturphänomene überhaupt quantitativ erfassen lassen und Naturwissenschaften in der Sprache der Mathe-



**PROF. DR. JOHANNES WALCHER** ist seit dem Jahr 2015 Professor an der Fakultät für Mathematik und Informatik der Universität Heidelberg und kooptiertes Mitglied der Fakultät für Physik und Astronomie. Er wurde an der ETH Zürich (Schweiz) promoviert und forschte unter anderem am CERN in Genf (Schweiz), dem Kavli Institute for Theoretical Physics in Santa Barbara (USA) und dem Institute for Advanced Study in Princeton (USA). Vor seinem Ruf nach Heidelberg war er Professor für Physik und Mathematik an der McGill University in Montreal (Kanada). Er leitet die im Rahmen des Zukunftskonzepts der Universität Heidelberg eingerichtete Arbeitsgruppe „Mathematische Physik“ am Mathematischen Institut und ist Mitglied des neuen Exzellenzclusters STRUKTUREN.

Kontakt: walcher@uni-heidelberg.de

matik formuliert werden können, wird häufig als nicht selbstverständlich angesehen. Der ungarisch-amerikanische Physiker und Nobelpreisträger Eugene Wigner etwa spricht in seinem Essay „The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences“ von einem „Geschenk, das wir weder verstehen noch verdienen“. Er spielt dabei weniger auf die kultur- oder evolutionstheoretische Frage an, ob die Entwicklung unserer mathematischen Fähigkeiten nicht letztlich doch durch unsere natürliche Erfahrung bedingt ist. Er führt stattdessen zwei viel interessantere Beobachtungen an: Erstens, dass gewisse mathematische Begriffe immer wieder an Stellen auftauchen, die ganz weit weg von dem Gebiet liegen, das ihre Einführung ursprünglich motiviert hat. Warum zum Beispiel bestimmt die reelle Zahl  $\pi$ , geometrisch definiert als der Flächeninhalt des Einheitskreises, auch die Normierung der Gaußschen Glockenkurve aus der Statistik? Zweitens, dass von allen Kategorien des menschlichen Denkens ausgerechnet die abstrakteste Mathematik sich als so unmittelbar nützlich für die Beschreibung konkret gegebener Tatsachen eignet. Gibt es nicht vielleicht Konzepte einer anderen Art, die für die Naturwissenschaften (noch) viel nützlicher wären?

Ein Paradebeispiel für die „unvernünftige“ Nützlichkeit mathematischer Konzepte an unerwarteter Stelle sind die komplexen Zahlen. Sie wurden ursprünglich eingeführt als rein „imaginäre“ Größen zur Lösung algebraischer Gleichungen wie  $x^2 = -1$  und erwiesen sich im Kontext der Infinitesimalrechnung als äußerst mächtiges Werkzeug zur Lösung einer ganzen Fülle von Problemen der angewandten Mathematik. Die Theorie der analytischen Funktionen erklärt zum Beispiel, warum  $\int e^{-x^2} = \sqrt{\pi}$ , und ist auch heute noch ein wesentliches Hilfsmittel der theoretischen Physik. In der Quantenmechanik aber, deren Entwicklung beispielsweise für Eugene Wigner prägend war, wird das

Verwenden komplexer Zahlen prinzipiell unumgänglich. Um die Heisenbergschen Postulate an den Messprozess zu erfüllen und die Symmetrieprinzipien darzustellen, muss der Raum der physikalischen Zustände auf die komplexen Zahlen aufbauen. Diese Aussage lässt sich zwar mathematisch begründen, intuitiv aber praktisch nicht erfassen.

Wie eingangs erwähnt, ist gerade die Entwicklung der letzten 40 Jahre voll von Beispielen mathematischer Konzepte, die sich in unerwarteter Weise als nützlich erwiesen haben, um physikalische Theorien zu entwickeln. Dies gilt insbesondere für die Theorien, die auf der Quantenmechanik und der Speziellen Relativitätstheorie aufbauen und die Wechselwirkungen zwischen den bekannten elementaren Bausteinen der Materie beschreiben: Elektronen und ihre Verwandten sowie Protonen und Neutronen beziehungsweise deren Konstituenten Quarks und Gluonen. Die hierfür relevanten „nicht-abelschen Eichtheorien“ der starken und schwachen Kernkraft lassen sich in invarianter Weise mithilfe von „Zusammenhängen in Hauptfaserbündeln“ formulieren. Solche mathematischen Strukturen spielen eine wichtige Rolle bei der differentialgeometrischen Untersuchung von topologischen Räumen und erlauben ein elegantes Verständnis von quantenmechanischen Effekten in den entsprechenden physikalischen Theorien.

Der Ausbau des mathematischen Apparats zur Beschreibung physikalischer Symmetrieprinzipien, insbesondere graduierte und unendlich-dimensionale Lie-Algebren oder die Klassifikation topologischer Phasen in Festkörpern, gehört sicherlich auch zu den „nicht verpassten Gelegenheiten“ im Sinne Dysons, Letztere sogar von ihm vorweggenommen. Eine besondere Würdigung verdient hier die sogenannte Supersymmetrie. Sie wurde ursprünglich eingeführt als natürliche quantenmechanische Erweiterung der Poincaré-Symmetrie, die der Relativitätstheorie zugrunde liegt. Ihre Implementierung in der Quantenfeldtheorie zur Lösung einiger Unzulänglichkeiten des Standardmodells führt einerseits zur Vorhersage neuer Elementarteilchen, deren experimenteller Nachweis allerdings bis heute aussteht. Andererseits eröffnet die Supersymmetrie aber auch eine Fülle neuer Methoden zur Untersuchung von Quantenfeldtheorien allgemein. Dies liegt unter anderem daran, dass die Erfüllung der Supersymmetrie eine enge Verbindung mit der Theorie der analytischen Funktionen herstellt und dass sich damit gewisse analytische Probleme rein algebraisch lösen lassen. Dadurch bietet die Supersymmetrie auch neue mathematische Zugänge zur Quantenfeldtheorie. Ein aktuelles Forschungsprojekt in unserer Arbeitsgruppe betrifft zum Beispiel die algebraisch-geometrischen Strukturen des Feldraumes in supersymmetrischen Feldtheorien in verschiedenen Dimensionen. Um weitere Querverbindungen zur reinen Mathematik zu illustrieren, müssen wir noch einmal etwas ausholen.

**„Ein häufig unterschätzter Aspekt unserer mathematischen Beschreibung der Natur ist die Tatsache, dass sich relevante Teile der Welt als relativ stabil und wohlgeordnet darstellen.“**

# „Am spektakulärsten offenbaren sich die Grenzen unseres Verständnisses in der Konkurrenz zwischen unserer besten Theorie von Raum, Zeit und Gravitation – der Allgemeinen Relativitätstheorie – und den Regeln der Quantenmechanik.“

## Näherungen

Ein häufig unterschätzter Aspekt unserer mathematischen Beschreibung der Natur ist die Tatsache, dass sich relevante Teile der Welt als relativ stabil und wohlgeordnet darstellen. Denn nur diese prinzipielle Ordnung ermöglicht es uns, gewisse Phänomene zu isolieren und als „kleine Fluktuationen“ eines ungestörten Zustands zu erkennen und getrennt von anderen Komplikationen zu beschreiben, gleichsam kleinen Wellen auf einer sonst ungetrübten Wasserfläche. So war es etwa nur aufgrund der großen Regelmäßigkeit der Planetenbahnen überhaupt möglich (wenn auch keinesfalls trivial!), daraus die zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten der Gravitation abzuleiten. Auch die modernen kosmologischen Modelle beschreiben ein Universum, das im Großen und Ganzen oder wenigstens im Ursprung hochgradig homogen ist und aus dem erst nach und nach komplexere – ihrerseits ebenfalls wieder stabile – Strukturen auf kleineren Skalen entstanden sind.

„Kleine Parameter“ sind nicht nur verantwortlich dafür, dass wir prinzipiell in der Lage sind, Gesetzmäßigkeiten in der Natur zu erkennen (wodurch sich die Physik von vielen anderen Wissenschaften unterscheidet). Sie ermöglichen auch überhaupt erst das Lösen – durch „Näherung“ – von komplizierten Modellen in ausgewählten Grenzfällen. Die „Vernachlässigung von Termen höherer Ordnung“ lässt sich auf die mathematische Tatsache zurückführen, dass das Quadrat (und erst recht höhere Potenzen) einer positiven Zahl kleiner als 1 kleiner als die Zahl selbst ist (das heißt  $x^2 < x$  falls  $0 < x < 1$ ). Je kleiner die Zahl, desto besser die Näherung. Die fragliche Zahl stellt manchmal ein Größenverhältnis dar, das man zum Beispiel experimentell kontrollieren kann, manchmal auch eine dimensionslose sogenannte Kopplungskonstante, deren Größe und Ursprung man häufig nicht versteht. Das Prinzip gilt in gewissem Sinn auch für physikalische Theorien selbst, die immer nur eine Approximation an die tatsächlichen Gegebenheiten bleiben, und sicherlich für die Entwicklung neuer Theorien, die etablierte Theorien stets als Näherung umfassen müssen.

Diese Einsicht bedingt aber auch, dass Physik sich genau dort weiterentwickelt, wo die bisherigen Theorien und Modelle keine guten Näherungen mehr darstellen. Auf solche Bedingungen trifft man insbesondere, wenn viele der Konstituenten, Atome und Elementarteilchen, deren Verhalten man einzeln gut versteht, zusammentreten und stark miteinander wechselwirken. Häufig gelingt es, im tatsächlichen Verhalten des Gesamtsystems neue Gesetzmäßigkeiten zu identifizieren. Dann stellt sich das mathematische Problem, diese neuen „effektiven“ Gesetze als Näherung aus den fundamentalen Wechselwirkungen herzuleiten. Als besonders hartnäckig haben sich etwa die oben erwähnten nicht-abelschen Eichtheorien erwiesen. Der mathematisch strenge Nachweis einer „Massenlücke“

in diesen Theorien ist eines der ungelösten „Millennium Prize Problems“ der Clay Foundation.

Am spektakulärsten aber offenbaren sich die Grenzen unseres Verständnisses in der Konkurrenz zwischen unserer besten Theorie von Raum, Zeit und Gravitation – der Allgemeinen Relativitätstheorie – und den Regeln der Quantenmechanik, die uneingeschränkt für die mikroskopischen Bestandteile der Materie und deren Wechselwirkungen gelten. Denn während beide Theorien die Phänomene in ihren jeweiligen Wirklichkeitsbereichen mit fast unvorstellbarer Präzision hervorragend beschreiben, liegt dies unter anderem daran, dass diese Bereiche durch eines der größten Skalenverhältnisse getrennt sind, das uns in der Natur bekannt ist: Die Anziehung zwischen zwei Elektronen aufgrund der Schwerkraft ist  $2 \cdot 10^{-43}$  Mal kleiner als die Abstoßung aufgrund ihrer elektrischen Ladung. Bei der Extrapolation in physikalische Situationen aber, in denen dieser kleine Parameter durch große Energien, hohe Temperaturen oder äquivalent kleine Zeit- und Längenskalen kompensiert wird, werden die Näherungen in beiden Theorien unzuverlässig und sie verlieren ihre Vorhersagekraft. Dies ist insbesondere der Fall im sehr frühen Universum, im Inneren von Schwarzen Löchern oder auch bei (hypothetischen) Teilchenkollisionen mit transplanckschen Energien.

#### Vereinheitlichung und Dualität

Zur Fruchtbarkeit der Wechselwirkung zwischen Mathematik und Physik gehört – trotz mancher charakterlichen Unterschiede – als gemeinsame Leidenschaft das Streben nach Einfachheit der Prinzipien. Besondere Genugtuung bereitet es, wenn sich a priori unterschiedlich eingeführte Konzepte oder ganze Theorien als eng verwandt oder gar identisch herausstellen. Die in der Mathematik allgegenwärtigen komplexen Zahlen und analytischen Funktionen hatten wir oben schon erwähnt. Das vielleicht schönste Beispiel aus der Physik ist die Vereinheitlichung der elektrischen und magnetischen Wechselwirkungen in der Maxwell'schen Elektrodynamik. Die Vereinigung mit der schwachen Kernkraft zur elektroschwachen Theorie erfuhr mit der Entdeckung des Higgs-Bosons am Europäischen Teilchenlabor CERN in Genf im Jahr 2012 ihre abschließende experimentelle Bestätigung.

In ähnlicher Weise gibt es Anhaltspunkte, dass die mathematischen Probleme der Quantengravitation letztlich eng mit den Unzulänglichkeiten der quantenfeldtheoretischen Modelle der Elementarteilchen verflochten sind. Diese Vorstellung lässt sich insbesondere in der Stringtheorie realisieren: Aus der Annahme, dass die fundamentalen quantenmechanischen Bausteine der Materie eine intrinsische Ausdehnung von etwa der obigen Planckschen Größenordnung haben, folgt nicht nur mathematisch zwingend, dass diese Bausteine auch der Einsteinschen

Gravitation unterworfen sind. Schon in den einfachsten Lösungen der Stringtheorie erhält man eine erste grobe Skizze für die Vereinheitlichung aller Wechselwirkungen. Die Verfeinerung dieser Modelle, und insbesondere die Frage nach dem Zusammenhang zur Stärke der Gravitationswechselwirkung, ist Gegenstand aktueller Forschungen, gerade auch am Institut für Theoretische Physik hier in Heidelberg.

#### Entstehung, Rolle und Aufdeckung von Struktur

Warum gibt es in der Nähe von Sternen Planeten und nicht nur Staub? Wie können wir neuronale Aktivitätsmuster im Gehirn besser verstehen? Welche fundamentalen Zusammenhänge bestehen zwischen mathematischen und physischen Strukturen? Mit solchen Fragen zur Entstehung, Rolle und Aufdeckung von Struktur in einem weiten Feld von Naturphänomenen, die von der subatomaren Teilchenphysik zur Kosmologie und von der fundamentalen Quantenphysik zur Neurowissenschaft reichen, beschäftigt sich seit Januar 2019 das Exzellenzcluster „STRUKTUREN: Emergenz in Natur, Mathematik und komplexen Daten“.

Die rund 100 beteiligten Wissenschaftler aus Physik, Mathematik und Informatik untersuchen in sieben „Comprehensive Projects“, wie Struktur, kollektive Phänomene und Komplexität durch das Zusammenspiel vieler Freiheitsgrade aus den grundlegenden Gesetzen der Physik entstehen. Sie untersuchen dabei Modellsysteme mit einer Kombination von mathematischer Theorie, numerischer Simulation und neuartigen analogen Rechnern. Dabei werden moderne Methoden der Datenanalyse angewandt und weiterentwickelt sowie neue Resultate und Ideen aus Geometrie und Topologie in Anwendungen übertragen. Die Konzepte und Methoden sind auch von zentraler Bedeutung, um relevante Strukturen in großen Datenmengen zu finden und innovative analoge Rechner zu entwickeln.

Das Exzellenzcluster wurde im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder an der Universität Heidelberg eingerichtet. Beteiligt sind neun Universitätsinstitute sowie die Max-Planck-Institute für Astronomie (MPIA) und Kernphysik (MPIK) in Heidelberg, das Heidelberger Institut für Theoretische Studien (HITS) und das Zentralinstitut für seelische Gesundheit (ZI) in Mannheim. Sprecher sind Prof. Dr. Manfred Salmhofer (Institut für Theoretische Physik), Prof. Dr. Anna Wienhard (Mathematisches Institut) und Prof. Dr. Ralf S. Klessen (Zentrum für Astronomie).

[www.thphys.uni-heidelberg.de/~structures](http://www.thphys.uni-heidelberg.de/~structures)

Zur Erforschung dieser physikalisch motivierten Fragen ist die Stringtheorie wieder auf die Zusammenarbeit mit der Mathematik angewiesen. Die Supersymmetrie, die für die Stringtheorie unabdingbar ist, erfordert zum Beispiel, dass die von Riemann und Einstein konzipierte Raumzeit mit einer ganzen Reihe weiterer Strukturen ausgestattet ist, sie muss nämlich mindestens eine komplexe Mannigfaltigkeit mit einer Ricci-flachen Kähler-Metrik sein. Der amerikanisch-chinesische Mathematiker und Träger der Fields-Medaille Shing-Tung Yau hatte im Jahr 1977 gezeigt, dass diese Forderungen erfüllbar sind, ohne dass es möglich war, die komplizierten Gleichungen auch nur näherungsweise explizit zu lösen. Dank der Supersymmetrie können dann die zugehörigen Lösungen der Stringtheorie aber mit physikalischen Methoden näherungsweise untersucht werden.

Dabei stellte sich ab Anfang der 1990er-Jahre in höchst überraschender Weise heraus, dass paarweise verschiedene (nämlich topologisch inäquivalente) Mannigfaltigkeiten als Ausgangspunkte zu ein und derselben Lösung der Stringtheorie führen können. Umgekehrt gesagt lassen sich in der quantenmechanischen Theorie verschiedene „kleine Parameter“ identifizieren, und die zugehörigen Approximationen gehören zu verschiedenen geometrischen Modellen. Diese Aussage der „Mirror-Symmetrie“ war mathematisch vollkommen unerwartet und stieß anfangs auch auf einige Skepsis. Die Mächtigkeit solcher „Dualitäten“ (oder auch „Korrespondenzen“) genannten Beziehungen liegt dann üblicherweise darin, dass Rechnungen, die in der einen Näherung auf ein hochgradig komplexes mathematisches Problem führen, sich in der anderen Formulierung auf ganz elementare Weise lösen lassen – und umgekehrt. Dadurch stärken Dualitäten das Vertrauen in die Stichhaltigkeit der physikalischen Theorie, machen strukturelle mathematische Vorhersagen und geben auch der Beziehung zwischen beiden Disziplinen eine neue Qualität.

Im Zuge der von dem Physiker und Träger der Fields-Medaille Edward Witten initiierten „zweiten Stringrevolution“ wurden Dualitäten zu einem engmaschigen Netz geknüpft, das, so wird vermutet, alle theoretisch möglichen (mathematisch konsistenten) fundamentalen Theorien umspannt, die mit allen bekannten physikalischen Prinzipien verträglich sind. Die von dem argentinischen Physiker Juan Maldacena eingeführte sogenannte holographische „AdS/CFT-Korrespondenz“ sieht sogar vor, dass stark gekoppelte nicht-abelsche Eichtheorien dual sind zu gravitationellen Quantentheorien auf speziellen „negativ gekrümmten“ Raumzeiten.

Ein strenger Nachweis solcher Aussagen scheint derzeit außer Reichweite. Die meisten Anstrengungen konzentrieren sich daher darauf, die beiden Seiten einer Dualität auf identische mathematische Strukturen zurückzuführen,

die zwar nicht die volle Äquivalenz der physikalischen Theorien implizieren, aber wenigstens in der geeigneten Näherung die bekannten Aussagen ergeben. Aufbauend auf Entdeckungen der letzten Jahre ist ein Ziel unserer Forschungen, zu beschreiben, wie sich aus der von dem französisch-russischen Mathematiker Maxim Kontsevich postulierten „Homologischen Mirror-Symmetrie“ die oben erwähnten quantitativen Vorhersagen reproduzieren lassen.

Es bleibt die interessante Frage nach der tieferen Bedeutung von Dualitäten. Einerseits bestätigen sie, dass die gleichen Tatsachen zwar konzeptionell verschiedene Beschreibungen zulassen können, diese aber immer noch in mathematischer Sprache ausgedrückt werden. Andererseits wird aber nur die jeweils schwach gekoppelte Version tatsächlich relevant werden für die Beschreibung der Natur. Jedenfalls ist das Teilen der Dualitätsidee der vielleicht größte kulturelle Beitrag der neuen Wechselwirkung zwischen Physik und Mathematik. ●



APPROXIMATION

# DUALITIES IN MATHEMATICS AND PHYSICS

JOHANNES WALCHER

The quantitative and objective description of nature is one of the greatest cultural achievements of modern times. The experimental method and the development of abstract concepts allow for a fundamental understanding of connections between different phenomena. Physics in particular uses advanced mathematical concepts and requires the solution of complicated mathematical problems, and sometimes even the development of entirely new mathematical notions.

An important aspect of our mathematical description of nature is the idea that such a description is only an “approximation”. New discoveries are expected when higher orders in the small parameters that govern these approximations can no longer be neglected: the gravitational pull between two electrons is  $2 \cdot 10^{-43}$  times smaller than their electric repulsion, but quantum gravitational effects do become relevant in extreme situations, such as the early universe or trans-Planckian scattering.

Physics and mathematics share a passion for simple principles. For instance, complex numbers and analytic functions are ubiquitous in both pure and applied mathematics. The unification of Maxwell’s electrodynamics with the weak nuclear force was conclusively established with the discovery of the Higgs boson. String theory shows that the difficulties of quantum gravity are intertwined with the shortcomings of the Standard Model of particle physics. Its use of supersymmetry implies a close connection with modern algebraic and differential geometry, and topology. We know that certain solutions of string theory can admit different approximation schemes based on distinct classical geometries. These “dualities” have led to predictions about ties between different mathematical theories. As part of the Cluster of Excellence STRUCTURES, our research group studies mathematical structures in string theory and supersymmetric field theory, and their implications for geometry and topology. ●

PROF. DR JOHANNES WALCHER joined the staff of Heidelberg University's Faculty of Mathematics and Computer Science in 2015 and is also a co-opted member of the Faculty of Physics and Astronomy. He earned his PhD at ETH Zurich (Switzerland) and conducted research at CERN in Geneva (Switzerland), the Kavli Institute for Theoretical Physics in Santa Barbara (USA) and the Institute for Advanced Study in Princeton (USA). Before transferring to Heidelberg, he was a professor of physics and mathematics at McGill University in Montreal (Canada). He heads the research group "Mathematical Physics" (established in the context of Heidelberg University's Institutional Strategy) at the Mathematical Institute and is a member of the new Cluster of Excellence STRUCTURES.

Contact: walcher@  
uni-heidelberg.de

**“The quantitative and objective description of nature is one of the most remarkable cultural achievements of the modern age.”**



**„Das Teilen  
der Dualitätsidee  
ist vielleicht  
der größte kulturelle  
Beitrag der neuen  
Wechselwirkung  
zwischen Physik und  
Mathematik.“**

**AUS DEM BAUKASTEN  
DER**

**MOLEKULAREN  
INGENIEURE**

AUS DEM BAUKASTEN DER MOLEKULAREN INGENIEURE

# AUF DEM WEG ZUR SYNTHETISCHEN ZELLE

KERSTIN GÖPFRICH, ILIA PLATZMAN & JOACHIM P. SPATZ

**Die synthetische Biologie will lebensähnliche Materialsysteme auf der Basis ingenieurwissenschaftlicher Prinzipien kreieren. Was verwegen klingt, ist dank neuer Techniken in den Bereich des Möglichen gerückt.**

# J

Jede auf der Erde vorkommende Zelle ist aus einer zuvor existierenden Zelle hervorgegangen. Die Art und Weise, wie das Leben einst auf der Erde entstand, lässt jedoch auch den Gedanken aufkommen, dass es prinzipiell möglich sein könnte, lebensähnliche Systeme aus ihren molekularen Einzelbausteinen zu erzeugen. Dieser Gedanke führt zu einer philosophischen Frage: Kann der Übergang von nicht lebender Materie zu lebender Materie in einem Labor verwirklicht werden? Die Idee, eine komplette Zelle von Grund auf nachzubauen, ist verwegen. Und doch ist die Vision, in gewissen Grenzen, mittlerweile in den Bereich des Möglichen gerückt.

Die erfolgreiche Konstruktion einer künstlichen Zelle würde unser Verständnis vom Ursprung des Lebens und seiner Zukunft revolutionieren. Das Streben nach einem synthetischen Nachbau lebensähnlicher Materialsysteme ist zunächst ein von Neugier getriebenes wissenschaftli-

ches Unterfangen. Das übergeordnete Ziel dabei ist, lebende Systeme, beispielsweise eine Zelle, an sich besser zu verstehen. Darüber hinaus ließe sich mit der künstlichen Zelle womöglich ein Weg eröffnen, um eines der größten Geheimnisse der Evolutionsbiologie zu lüften, erlaubt es dieser Forschungsansatz doch, die unterschiedlichen Theorien über den evolutionären Ursprung der Zelle – der Grundeinheit des Lebens – zu überprüfen. Nicht zuletzt kommen künstliche Zellen für zahlreiche visionäre Anwendungen infrage: Sie könnten beispielsweise kranke oder geschädigte Zellen ersetzen oder als programmierbare Arzneistoffträger dienen. Das Ziel, eine Zelle im Labor mit programmierbarer Funktionalität nach ingenieurwissenschaftlichen Prinzipien aus ihren molekularen Bestandteilen aufzubauen, verfolgt die heutige synthetische Biologie – ein

#### Simulation lebensähnlicher Prozesse

Was genau ist Leben aus physikalisch-chemischer Sicht? Können lebensähnliche Prozesse, Funktionen und Objekte im Labor simuliert werden? Wie können aus Molekülen und Materialien lebensähnliche Systeme gebaut werden, das heißt Systeme, welche in ihren Funktionen Zellen, Zellnetzwerken und Organismen ähneln? Diesen grundlegenden Fragen widmet sich die Max Planck School Matter to Life, ein gemeinsames Forschungs- und Ausbildungsnetzwerk der Universitäten Heidelberg und Göttingen, der Technischen Universität München und des DWI Leibniz-Instituts für Interaktive Materialien in Aachen sowie mehrerer Max-Planck-Institute, darunter das Heidelberger MPI für medizinische Forschung. Letzteres hat zusammen mit der Universität Heidelberg die Sprecherfunktion der Max Planck School Matter to Life. Matter to Life bündelt verteilte Exzellenz in einem innovativen Forschungsfeld, das sich mit der Konstruktion lebensähnlicher Prozesse und Systeme beschäftigt.

Das forschungsnahe Ausbildungsprogramm steht Bachelorabsolventen aus den Fachbereichen Chemie, Physik, Biologie, Biochemie, Biotechnologie und Materialwissenschaften offen, die bereits im Laufe des Studiums eigenständige Forschungsprojekte verfolgen können. Nach erfolgreich abgeschlossener Masterarbeit können sie ihre Labortätigkeit während eines Doktorandenstudiums fortsetzen. Die insgesamt drei neuen Max Planck Schools, die 2019 starteten, stellen eine neue Art der Kooperation in der Graduiertenbildung dar und werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung für eine Pilotphase von fünf Jahren mit insgesamt neun Millionen Euro pro Jahr gefördert.

[www.maxplanckschools.de/de/matter-to-life](http://www.maxplanckschools.de/de/matter-to-life)

noch junges, sich dynamisch entwickelndes Forschungsfeld. Dieses Forschungsfeld wird an der Universität Heidelberg bereits in dem neu etablierten Master- und PhD-Programm „Matter to Life“ gelehrt, einem gemeinsamen Studiengang mit der Universität Göttingen, der Technischen Universität München und der Max-Planck-Gesellschaft im Rahmen der Max Planck School Matter to Life.

#### Konstruktionsprinzipien der synthetischen Biologie

Dafür nutzen die Wissenschaftler zwei unterschiedliche Konstruktionsprinzipien: den Top-down- und den Bottom-up-Ansatz. Der Top-down-Ansatz geht von einer existierenden biologischen Zelle aus. Um daraus eine künstliche Zelle zu kreieren, wird die DNA- und Protein-Basis der biologischen Zelle verändert. Die so entstehende synthetische Zelle ist in der Regel lebensfähig und genetisch sehr nah mit ihrer biologischen Vorgängerzelle verwandt. Ein Beispiel für den Top-down-Ansatz sind die „Minimal Genome Projects“: Sie wollen diejenigen Gene identifizieren, die ein Organismus mindestens besitzen muss, um überleben zu können. Mittlerweile ist es gelungen, lebende Zellen mit solchen künstlichen Minimalgenomen zu erschaffen.

Der Bottom-up-Ansatz hingegen nutzt nicht-lebende Materie, um daraus neue biologische Systeme zu erzeugen. Die einfachste Version ist ein zellgroßes Kompartiment, eine Art Behälter. Die komplexe Funktion der künstlichen Zelle wird anschließend durch den Einbau von Bauteilen erreicht, die aus natürlichen oder künstlichen molekularen Bausteinen bestehen. Indem man immer mehr Einzelkomponenten hinzufügt, wird die Komplexität des Kompartiments nach und nach erhöht. Am Ende soll eine in Teilen voll funktionsfähige künstliche Zelle stehen. Die Voraussetzung dafür sind Methoden und Techniken, mit denen man Funktionseinheiten schrittweise innerhalb eines zellartigen Kompartiments zusammensetzen kann. Da die Auswahl an solch funktionellen Bauteilen stetig zunimmt, ist die Integrierbarkeit der Einzelbauteile ein Schlüsselkriterium, um synthetische Zellbauteile auf ihre Eignung hin zu bewerten und Errungenschaften in diesem Forschungsfeld zu vergleichen.

Eine weitere Voraussetzung ist, dass künstliche Zellen der natürlichen Aufteilung in „Prokaryoten“ (zelluläre Lebewesen ohne Zellkern) und „Eukaryoten“ (Zellen mit Kern) entsprechen sollten – wobei die Charakteristika der natürlichen eukaryotischen Zelle das Vorbild für die Eigenschaften des synthetischen Eukaryots sein sollten. Die wichtigsten Charakteristika des natürlichen Vorbilds sind: Eukaryotische Zellkompartimente sind deutlich größer als die von Prokaryoten; Eukaryoten besitzen ein sehr komplexes inneres Membransystem mit zahlreichen Organellen, und sie haben ein unverkennbares Zellskelett (Zytoskelett), das viele unterschiedliche Funktionen ausübt. Mit einer typischen Größe



**PROF. DR. JOACHIM P. SPATZ** wurde im Jahr 2000 als Professor für Biophysikalische Chemie an die Universität Heidelberg berufen. Seit 2016 ist er zudem Direktor des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung in Heidelberg. Zuvor war er von 2004 bis 2015 auch am Stuttgarter Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme (ehemals MPI für Metallforschung) tätig. Die Forschungsschwerpunkte des Biophysikers liegen vor allem im Bereich der Zellphysik, der synthetischen Biologie und der Materialwissenschaft. Für seine wissenschaftlichen Leistungen wurde Joachim P. Spatz vielfach ausgezeichnet, unter anderem mit einem ERC Advanced Grant des Europäischen Forschungsrates (ERC). Im Jahr 2017 erhielt er für seine herausragende Forschung an der Grenze von Materialwissenschaft und Zellbiophysik den mit 2,5 Millionen Euro dotierten Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis, den wichtigsten Forschungsförderpreis in Deutschland.

Kontakt: [joachim.spatz@urz.uni-heidelberg.de](mailto:joachim.spatz@urz.uni-heidelberg.de)



**DR. KERSTIN GÖPFRICH** ist seit November 2019 Gruppenleiterin am Max-Planck-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg und an der Fakultät für Physik und Astronomie der Universität Heidelberg tätig. Zuvor studierte sie Physik und Molekulare Medizin an der Universität Erlangen und wurde an der Universität Cambridge (Großbritannien) promoviert. Ab April 2017 arbeitete sie als Marie-Sklodowska-Curie-Fellow am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart in der Abteilung von Prof. Dr. Joachim Spatz. In ihrer Forschungsarbeit beschäftigt sich Kerstin Göpfrich mit dem Bau von synthetischen Zellen und funktionalen zellulären Komponenten mit Hilfe von DNA-Nanotechnologie.

Kontakt: kerstin.goeprich@mr.mpg.de

im zweistelligen Mikrometer-Bereich sind Eukaryoten im Schnitt auch wesentlich größer als Prokaryoten und haben ein 100 bis 10.000 Mal größeres Volumen: Die Größe der Zelle beeinflusst zelluläre Prozesse tief greifend; sie bestimmt unter anderem das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen und damit die Diffusionszeit von Stoffen.

#### Auf dem Weg zur synthetischen Zelle

Die Konstruktion eines zellgroßen Kompartiments als Behältnis für zelluläre Einzelfunktionen ist der Grundbaustein des synthetischen Eukaryoten. Derartige Kompartimente gibt es bereits: Die am häufigsten verwendeten Kompartimenttypen sind große Lipidvesikel – Fettbläschen –, fachsprachlich „Giant Unilamellar Vesicles“ (GUVs) genannt. Deren größter Vorteil ist es, dass sie aus Fetten (Lipiden) bestehen, den natürlichen Bausteinen zellulärer Membranen. Das ist wichtig für die Funktionsfähigkeit der synthetischen zellulären Komponente. Die Lipidvesikel lassen sich mit unterschiedlichen Verfahren herstellen, Beispiele sind die Elektroformation, die behutsame Hydratisierung oder Methoden, die auf dem Verdampfen von Lösungsmitteln basieren. Seit Kurzem gibt es spezielle mikrofluidische Systeme, die es erlauben, Lipidvesikel auf winzigen Plattformen mit kleinen Kanälen und Kammern, sogenannten Mikrofluidikchips, zu produzieren – eine Art „GUVs-on-a-chip“.

Die Mikrofluidik als Produktionsmethode für Lipidvesikel zu nutzen, hat gleich mehrere Vorteile: Es lassen sich Vesikel mit Durchsatzgeschwindigkeiten im Kilohertz-Bereich herstellen; die einheitliche Größe der Kompartimente lässt sich genau kontrollieren; es gibt verglichen mit anderen Methoden weniger Einschränkungen beim Zusammensetzen der Membranbestandteile, und die funktionalen Bauteile lassen sich direkt während des Herstellens im Einlasskanal für Wasser einkapseln. Kürzlich hat unsere Forschungsgruppe eine interessante Weiterentwicklung der Mikrofluidik beschrieben, einen tropfenbasierten mikrofluidischen Ansatz, der mit hohem Durchsatz robuste Vesikel von einheitlicher Größe hervorbringt: Die „droplet-stabilized GUVs“ (dsGUVs) können dank einer speziellen Methode („Picoinjektions-Mikrofluidik“) nacheinander mit verschiedenen Stoffen oder funktionalen Bauteilen bestückt und anschließend aus ihrer Polymerhülle in eine physiologische Umgebung entlassen werden.

Entwicklungen wie die der stabilisierten GUVs lassen erwarten, dass die Mikrofluidik als Methode mit viel Spielraum für Komplexität das Feld der synthetischen Biologie mit Bottom-up-Ansatz stark beeinflussen wird. Die synthetische Biologie kann dabei aus der Vielfalt der bislang erarbeiteten Mikrofluidikmodelle großen Nutzen ziehen. Zu den für den Bottom-up-Ansatz nutzbaren Flusskammertypen zählen beispielsweise „Kompartimentbildungsmodule“: Sie bestehen aus mikrofluidischen Einheiten zur Bildung zellgroßer Einzelkompartimente und Mehrkompartiment-

„Eines Tages könnte mit dem Bottom-up-Ansatz eine erste rein synthetische lebensähnliche Zelle ohne biologische Abstammung entstehen.“



**DR. ILIA PLATZMAN** ist Projektleiter am Max-Planck-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg und Mitglied der Forschungsgruppe für Biophysikalische Chemie von Prof. Dr. Joachim Spatz an der Universität Heidelberg. Nach Studium und Promotion am Technion – Israel Institute of Technology in Haifa (Israel) im Bereich Chemieingenieurwesen forscht er seit 2010 in der Forschungsgruppe von Prof. Spatz an der Universität Heidelberg und am Max-Planck-Institut, an dem er seit 2014 Projektleiter der Forschungsgruppe „Mikrofluidik für Synthetische Biologie“ ist. 2011 wurde Ilia Platzman mit einem Alexander-von-Humboldt-Fellowship ausgezeichnet, 2014 erhielt er den Günter Petzow-Preis für seine Arbeit zu neuen mikrofluidischen Techniken und Materialwissenschaften in der synthetischen Biologie.

Kontakt: [ilia.platzman@mr.mpg.de](mailto:ilia.platzman@mr.mpg.de)

systeme. Module zur Manipulation von Kompartimenten und deren Inhalt können genutzt werden, um schrittweise die Komplexität künstlicher Zellen zu erhöhen – die mikrofluidischen Einheiten in diesem Modul können beispielsweise Wachstum und Zellteilung und somit einen einfachen Zellzyklus nachahmen. „Analysemodule“ wiederum bestehen aus mikrofluidischen Einheiten, mit denen sich der Inhalt künstlicher Zellen systematisch quantifizieren und überwachen lässt; die Sortiereinheit des Analyse-Moduls kann zudem benutzt werden, um auch den Zelltod oder die Evolution heterogener künstlicher Zellpopulation nachzuahmen. „Adaptationsmodule“ wiederum enthalten Einheiten, mit denen sich das Milieu innerhalb der zellähnlichen Kompartimente an natürliche Lebensbedingungen anpassen lässt. Damit lässt sich mit der Vielfalt der verfügbaren Chip-basierten Einheiten eine Art automatisierte Fertigungseinheit für synthetische Zellen kreieren.

#### Annäherungen an ein Optimum

In den vergangenen 20 Jahren ist es der synthetischen Biologie gelungen, eine Reihe einzelner biologischer Vorgänge nachzubauen. Die derzeitige Herausforderung besteht darin, Ansätze zu entwickeln, mit denen sich einzelne funktionelle

Module in multifunktionelle Systeme integrieren lassen. Noch bis vor Kurzem mangelte es an Werkzeugen für die schrittweise Konstruktion und Manipulation synthetischer Zellen. Dank des Aufkommens sehr präziser Techniken wie die der Mikrofluidik sind diese Schwierigkeiten nunmehr fast überwunden: Bereits entwickelte funktionelle Einheiten können nun nacheinander mit bislang nicht gekannter Präzision und Kontrolle zusammengefügt werden. Die funktionellen Einheiten können jedoch beim Zusammenbau ihre Aktivität und Wirkweise verlieren – etwa durch unerwünschte chemische und physikalische Wechselwirkungen oder unpassende Pufferbedingungen. Eine Lösung für dieses Problem ist der Nachbau der eukaryotischen Zellarchitektur aus ineinanderliegenden Kompartimenten mit voneinander getrennten biochemischen Reaktionswegen. Zum Nachbau der komplexen biologischen Zellarchitektur gehört es auch, Membranporen zu kreieren, die den zellulären Stoffaustausch und die Kommunikation gewährleisten.

Trotz aller methodischen Fortschritte: Die Integration einiger zellulärer Bauteile wird immer schwierig bleiben. In diesen Fällen könnten vom Menschen erdachte Imitate eine Lösung darstellen. Insbesondere das For-

**„Im aufstrebenden Forschungsfeld der synthetischen Biologie schauen wir in eine Zukunft mit zahlreichen neuen Entwicklungen und Entdeckungen – bis hin zur Lüftung des Entstehens von Leben.“**

THE BUILDING BLOCKS OF MOLECULAR ENGINEERS

# ON THE WAY TO THE SYNTHETIC CELL

KERSTIN GÖPFRICH, ILIA PLATZMAN &amp; JOACHIM P. SPATZ

With the ultimate goal of creating a lifelike cell, the “bottom-up” approach of synthetic biology aims at recreating cellular processes with the methods of engineering. The starting point in this endeavour are simple chemical building blocks that are isolated from the complex conditions in a cell. In the last few years, this ambitious research approach has yielded new insights into the key mechanisms of life, as well as a rapidly increasing number of functional building blocks for the construction of synthetic cells. The scientific classification and integration of these building blocks is of great importance.

The article describes the strategies of reverse engineering: the disassembly of a system down to its smallest individual components, followed by a controlled reassembly that aims at shedding light on the function and chemical composition of the system. The authors show how functional building elements can be used to create synthetic mimics of eukaryotes that imitate the properties of the biological model. ●

PROF. DR JOACHIM P. SPATZ came to Heidelberg University in 2000 as a professor of biophysical chemistry. Since 2016 he has also been the director of the Max Planck Institute for Medical Research in Heidelberg. From 2004 to 2015 he also worked at the Max Planck Institute for Intelligent Systems (formerly the MPI for Metals Research) in Stuttgart. Prof. Spatz's research interests are cellular physics, synthetic biology and materials science. He has received numerous awards for his work, among them an ERC Advanced Grant of the European Research Council (ERC). In 2017 he was awarded the Gottfried Wilhelm Leibniz Prize, the most important research award in Germany, which is endowed with 2.5 million euros, for his outstanding research at the intersection of materials science and cellular biophysics.

Contact: joachim.spatz@  
urz.uni-heidelberg.de

DR KERSTIN GÖPFRICH has been a group leader at the Max Planck Institute for Medical Research in Heidelberg and a member of Heidelberg University's Faculty of Physics and Astronomy since November 2019. She studied physics and molecular medicine at the University of Erlangen and earned her doctoral degree at the University of Cambridge (UK). From April 2017, she worked in Prof. Spatz's department at the Max Planck Institute for Intelligent Systems in Stuttgart as a Marie Skłodowska Curie Fellow. Kerstin Göpfrich investigates the construction of synthetic cells and functional cellular components using DNA nanotechnology.

Contact: kerstin.goepfrich@  
mr.mpg.de

**“One day, the bottom-up approach could yield the first purely synthetic, lifelike cell without a biological progenitor.”**

DR ILIA PLATZMAN is a project leader at the Max Planck Institute for Medical Research in Heidelberg and a member of the research group for biophysical chemistry headed by Professor Joachim Spatz at Heidelberg University. He studied and earned his PhD in chemical engineering at Technion – Israel Institute of Technology in Haifa (Israel); since 2010 he has been working in the research group of Prof. Spatz at Heidelberg University and at the Max Planck Institute, where he became project leader of the research group “Microfluidics for Synthetic Biology” in 2014. In 2011 Ilia Platzman won an Alexander von Humboldt Fellowship, and in 2014 he received the Günter Petzow Award for his work on new microfluidic techniques and material sciences in synthetic biology.

Contact: ilia.platzman@mr.mpg.de



schungsfeld der sogenannten DNA-Nanotechnologie bietet vielversprechende neue Möglichkeiten. Ein Beispiel sind künstliche DNA-Strukturen, die bereits erfolgreich eingesetzt wurden, um den Zusammenbau zellulärer Bauteile zu programmieren und die Funktion von Proteinen nachzuahmen. Auch der Einsatz künstlicher Designer-Proteine wird die Vielseitigkeit künstlicher Zellen erhöhen.

Neue Wege – weg vom Nachbau natürlich vorkommender Bauteile hin zu gänzlich künstlichen Systemen – sind konzeptionell interessant. Sie haben darüber hinaus tief greifende Auswirkungen auf die Definition von lebenden Systemen. In einigen Fällen wird es wohl nie gelingen, den Vorsprung der Natur in Effizienz und Optimierung aufzuholen. Dennoch bieten neue Bauteile zweifelsohne auch neue Möglichkeiten, so sind synthetische Zellen mit Funktionen denkbar, die in der Natur unbekannt sind oder nicht effizient funktionieren. Am erfolgreichsten werden aller Voraussicht nach Ansätze sein, die sowohl auf natürliche wie auf künstliche Bausteine setzen. Auch die künftige Kombination von Bottom-up- und Top-down-Konzepten wird die Forschung bereichern.

### Eine Zukunft mit zahlreichen neuen Entwicklungen

Spannende Entwicklungen sind zu erwarten, wenn erst Fragen zur Evolution des Lebens in die konzeptionelle

Weiterentwicklung der synthetischen Biologie einbezogen werden. Bisher gibt es beispielsweise keine Studie, die einen offenen Evolutionsprozess in künstlichen Systemen umsetzt, also einen Prozess, der stetig komplexere Weiterentwicklungen hervorbringt. Ein weiteres langfristiges Ziel ist es, eine Hierarchie der Kompartimente aufzubauen – analog zur Hierarchie der Organisationsebenen vielzelliger Lebewesen, ausgehend von den Organellen im Innern der Zellen, über die Zellen selbst, über Zellverbände und Gewebe bis hin zu den Organen. Denn entscheidend für die faszinierende Vielfalt des Lebens, die heute auf der Erde existiert, war in der Evolution das Aufkommen der Vielzelligkeit. Die Kombination der DNA-Nanotechnologie mit dem mikrofluidischen Bioprint von synthetischen Zellen ist hier wegweisend.

Im aufstrebenden Forschungsfeld der synthetischen Biologie schauen wir in eine Zukunft mit zahlreichen neuen Entwicklungen und Entdeckungen – bis hin zur grundlegenden Beschreibung lebender und lebensähnlicher Systeme. So, wie sich das Leben beständig der besten Lösung durch Weiterentwicklung annähert, werden sich zweifelsohne auch die Ansätze der synthetischen Biologie weiterentwickeln. ●

#### Herausgeber

Universität Heidelberg  
Der Rektor  
Kommunikation und Marketing

#### Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Peter Comba (Vorsitz)  
Prof. Dr. Beatrix Busse  
Prof. Dr. Beate Ditzen  
Prof. Dr. Markus Hilgert  
Prof. Dr. Nikolas Jaspert  
Prof. Dr. Marcus A. Koch  
Prof. Dr. Carsten Könneker  
Prof. Dr. Alexander Marx  
Prof. Dr. h.c. Thomas Pfeiffer  
Prof. Dr. Joachim Wambsganß  
Prof. Dr. Reimut Zohlhöfer

#### Redaktion

Marietta Fuhrmann-Koch  
(verantwortlich)  
Mirjam Mohr (Leitung)  
Claudia Eberhard-Metzger

#### Layout

KMS TEAM GmbH, München

#### Druck

ColorDruck Solutions GmbH, Leimen

#### Auflage

6.000 Exemplare

#### ISSN

0035-998 X

#### Vertrieb

Universität Heidelberg  
Kommunikation und Marketing  
Grabengasse 1, 69117 Heidelberg  
Tel.: +49 6221 54-19026  
ruca@uni-heidelberg.de

Das Magazin kann kostenlos unter oben genannter Adresse abonniert werden.

Im Internet ist es verfügbar unter:

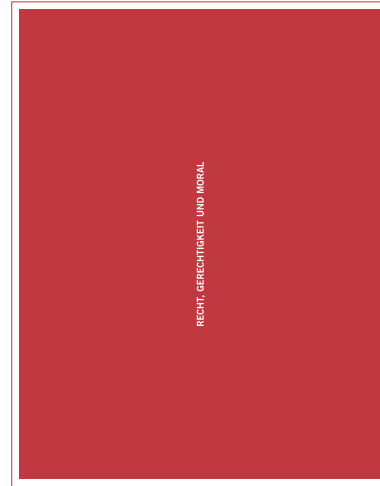
<https://www.uni-heidelberg.de/de/presse-medien/publikationen/forschungsmagazin>

<http://heiu.uni-heidelberg.de/journals/index.php/ruptocarola>



KLASSISCHE ARCHÄOLOGIE  
**SCHUTZLOS AUSGELIEFERT**  
KULTUR UND NATUR IN POMPEJI  
POLLY LOHMANN

**116**



RECHTSPHILOSOPHIE  
**RECHT, GERECHTIGKEIT UND MORAL**  
DIE DEBATTE UM NATURRECHT UND RECHTSPOSITIVISMUS  
MARTIN BOROWSKI

**124**



ARCHÄOMETRIE  
**INFORMATIONEN AUS DER BRONZEZEIT**  
DIE KRIMINALTECHNIK DER ARCHÄOLOGIE  
ERNST PERNICKA

**132**



MEDIÄVISTIK  
**DIE WILDNIS IN UND ZWISCHEN UNS**  
INZEST IN DER LITERATUR DES MITTELALTERS  
SARINA TSCHACHTLI

**140**

# KAPITEL

# IV

**SCHUTZLOS AUSGELIEFERT**

SCHUTZLOS AUSGELIEFERT

# KULTUR UND NATUR IN POMPEJI

POLLY LOHMANN

**Natur besiegt Kultur, bewahrt sie aber auch: Das zeigen deutlich die Ausgrabungen in Pompeji. Der Ausbruch des Vesuvs im Jahr 79 n. Chr. bereitete dem Leben in der römischen Kleinstadt ein jähes Ende – mit all ihrer Pracht, die rund 2.000 Jahre später konserviert besichtigt werden kann. Heute ist die Kultur Pompejis größter Feind: Denn mehr als drei Millionen Besucher jährlich, die über antike Bürgersteige wandern, Fresken berühren und Müll hinterlassen, sind ein konservatorischer Super-GAU. Einmal freigelegt, sind archäologische Funde, die Jahrhunderte oder gar Jahrtausende unter Erde oder Asche begraben und damit geschützt waren, konstant gefährdet.**

# 1

1689 entdeckten Arbeiter bei Kanalgrabungen im Süden des Vesuvs steinerne Inschriftenreste, die auf eine antike Siedlung hindeuteten. Das Gebiet war zu dieser Zeit bei seinen Anwohnern als „la civita“ bekannt, als (verschüttete) Stadt. Systematische Grabungen begannen 1748, aber erst 1763 identifizierte man den Ort namentlich als Pompeji. Weiträumige Aushebungen dauerten unter wechselnder Leitung und Vorgehensweise bis in die 1960er-Jahre an. Die in für heutige Verhältnisse großer Geschwindigkeit ausgegrabenen Flächen stellen eine konservatorische Herausforderung dar: Wo man vor 100 Jahren farbenprächtige Fresken freilegte, stehen jetzt an vielen Stellen nur noch kahle Mauern, denn was nicht sofort überdacht wurde, war der Witterung schutzlos ausgeliefert. Gerade der fragile Wandputz mit seinen Malereien fällt Feuchtigkeit und Sonneneinstrahlung oft als Erstes zum Opfer. Unsere Kultur hat Pompeji somit zum zweiten Mal den Naturgewalten – und sich selbst – ausgeliefert.

Pompeji fasziniert bis heute Wissenschaftler und Laien gleichermaßen, weil man hier so nah wie sonst nirgendwo an den antiken Menschen heranzukommen meint. Diese Faszination ist Nutzen und Übel zugleich: Sie hat Pompeji zu einem der wichtigsten Befunde altertumswissenschaftlicher Forschung und zu einem der größten archäologischen Touristenmagnete gemacht. Die einstige Pracht, die sich in der Ausstattung aristokratischer Wohnhäuser zeigt, und die Tragödie des plötzlichen Untergangs, manifestiert in den Gipsausgüssen der Sterbenden, verbinden sich in den Medien zu emotional aufgeladenen Bildern – zu Bildern vom Sündenpfehl Pompeji mit Orgien und rauschenden Festen, die in Filmen und populären Darstellungen gerne bedient werden, Bildern von leidenschaftlichen Liebenden, die wider alle Standesgrenzen erst im Angesicht des Todes zueinanderfinden. Die Emotionalität Pompejis generiert sich vor allem aus den individuellen Schicksalen, die dort erfahrbar werden, und aus der spürbaren Gewissheit, dass das eigene Leben jederzeit plötzlich vorbei sein kann.

## Scheinbare Momentaufnahme antiken Lebens

Der auf das Jahr 79 n. Chr. datierte Vesuvausbruch hat der römischen Kleinstadt ein solch jähes Ende bereitet, dass das Leben dort wie in einer Zeitkapsel gefangen zu sein scheint: eine Momentaufnahme antiken Lebens. Doch bei genauerer Betrachtung trägt dieser Schein. Die Naturkatastrophe ist uns vor allem durch den Bericht des angehenden Politikers und Redners Plinius des Jüngeren eindrücklich bekannt. Sein Onkel, Plinius der Ältere, war als Flottenkommandant im Golf von Neapel stationiert. Er kam dort bei einem Rettungsversuch per Schiff ums Leben, während sein Neffe bei Misenum überlebte und das Naturschauspiel in zwei Briefen (Die Vesuv-Briefe VI 16 und VI 20) dokumentierte. Zahlreiche Menschen flohen vor der sich über Tage ankündigenden Katastrophe, während andere in ihren Häusern ausharrten, wohl in der Hoffnung, dass sie dort überleben würden – von normalem Alltag, der durch die Ascheschichten konserviert wurde, kann also keine Rede sein. Das wird auch durch die Verteilung von Funden belegt, die ich in pompejanischen Wohnhäusern untersucht habe: Wertgegenstände und Münzen in Lederbeuteln oder Holzkästchen wurden zusammengerafft und sind zusammen mit Skeletten in den Wohnhäusern zu finden; die eigentlichen Alltagsgegenstände waren dagegen zumeist in Schränken und Regalen verstaut, also nicht in Benutzung, als „plötzlich“ der Vesuv ausbrach. Noch heute spricht man in der vulkanologischen Forschung bei besonders heftigen Eruptionen von „plinianischen Eruptionen“, denen eine Eruptionssäule vorausgeht, wie auch Plinius sie beschrieben hatte.

Die Landschaft Kampanien, in der der Vesuv liegt, war seit jeher von tektonischen Bewegungen und intensivem Vulkanismus geprägt. Dennoch siedelten Menschen spätestens seit der frühen Bronzezeit (wohl ab dem 2. Jahrtausend v. Chr.)



**DR. POLLY LOHMANN** ist seit 2018 Akademische Rätin und Kuratorin der Antikensammlung am Institut für Klassische Archäologie und Heidelberg Center for Cultural Heritage. Für ihre Dissertation zu den Graffiti in pompejanischen Wohnhäusern wurde sie mit dem Reisestipendium des Deutschen Archäologischen Instituts ausgezeichnet. Neben ihren Forschungsschwerpunkten der römischen Wohn- und Graffiti-forschung beschäftigt sie sich in ihrer Rolle als Kuratorin mit Forschungsnetzwerken des 19. Jahrhunderts um den Heidelberger Professor Friedrich von Duhn sowie der Geschichte und Neukonzeption der Antikensammlung.

Kontakt: [polly.lohmann@uni-heidelberg.de](mailto:polly.lohmann@uni-heidelberg.de)

immer wieder dort, was vor allem neuere geoarchäologische und archäobotanische Forschungen zeigen, beispielsweise ein Projekt um Florian Seiler an der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Der in dieser Landschaft gelegene Golf von Neapel, jene Einbuchtung zwischen Pozzuoli/dem Cap Miseno im Norden und Sorrent im Süden, hatte siedlungshistorisch besondere Vorzüge: Die östlich gelegene Bergkette des Apennin bot Materialressourcen, einen natürlichen Schutz gegen Feinde sowie eine Kaltluftbarriere, hinter der zum Meer hin ein gemäßigtes Klima herrschte; Ascheablagerungen hatten zudem eine fruchtbare Ebene für agrarische Nutzung gebildet, und der wasserreiche – und damit schiffbare – Fluss Sarno war Lebensgrundlage und Transportweg. Trotz der Gefahr vulkanischer Ausbrüche nicht nur des Vesuvs war dieses Territorium deshalb dicht besiedelt; die Geschichte der römischen Städte Herculaneum und Pompeji reicht bis ins 4. beziehungsweise 6. Jahrhundert v. Chr. zurück, in eine Phase, in der das Gebiet von griechischen Kolonisten sowie lokalen Bevölkerungsgruppen wie den Oskern und Samniten bewohnt war.

Die Besonderheit der Vesuvstädte Pompeji und Herculaneum sowie der römischen Villen ihrer Umgebung liegt in der Masse und Art ihrer Funde: In jeweils unterschiedlicher Form hat sich die gesamte Ausstattung von Gebäuden erhalten, angefangen von Fußboden- und Wanddekorationen über organische Funde, zum Beispiel hölzernes Mobiliar, Lebensmittel wie Brote, Nüsse und Getreide, bis hin zu menschlichen Überresten der in Asche und Lava begrabenen Einwohner, die nicht geflohen waren. Nur in solchen Ausnahmefällen erlauben die klimatischen Bedingungen die Konservierung derartiger Materialien und Funde der griechisch-römischen Antike im Mittelmeerraum. In Herculaneum sind Obergeschosse von Wohnhäusern stehen geblieben, in Pompeji haben sich mit Farbe angebrachte Wahlwerbungen (programmata) und Spieleankündigungen (edicta muneris) sowie Tausende in die Wände geritzte Graffiti erhalten.

#### **Graffiti waren recht beliebt**

Unser modernes Wort „Graffiti“ wurde von Ausgräbern Pompejis geprägt, denn man brauchte einen Begriff für diese dort erstmals entdeckte Form von Inschriften. Diese Graffiti, die Gegenstand meiner Dissertation waren, geben einen ganz unmittelbaren Einblick in den antiken Alltag: Namen von Bewohnern und Besuchern Pompejis, Grüße an Freunde, Nachbarn oder Geliebte, Zeichnungen von Menschen, Tieren und Gladiatoren, Zitate aus bekannter lateinischer Literatur, Wortspiele, Erotisches und vieles mehr. Erst seit einigen Jahren hat sich die Forschung der pompejanischen Graffiti als umfassendem Materialcorpus angenommen. Anders als antike literarische Texte, die uns auf der Makroebene über historische Ereignisse und Entwicklungen informieren und im Kontext der jeweiligen

# „Graffiti spiegeln antikes Leben auf kleinster Ebene wider.“

Machtverhältnisse verstanden werden müssen, spiegeln Graffiti antikes Leben auf kleinster Ebene wider. Sie halten lokale Ereignisse wie Markttag fest, überliefern bekannte Sprüche und die Namen beliebter Gladiatoren, erlauben Überlegungen zum lokalen Sozialgefüge und zu regionalen Dialekten.

Dabei zeigen sie auch, welchen Einfluss die im Alltag und im urbanen Raum präsenten Texte und Bilder als Medien hatten, denn häufig wiederholten Graffiti bereits Bekanntes: Sie benutzten dieselben Redewendungen wie Briefe, rezitierten aus Werken wie der Aeneis des Vergil, imitierten Vögel und andere Motive der Wandmalereien oder Schriftarten offizieller Inschriften. Zum größten Teil aber waren sie Identitätsmarker, wie wir sie noch heutzutage von viel besuchten Orten kennen: „Soundso war hier“. Ob die vielen Tausend einzelnen Personennamen an den Wänden von Wohnhäusern, Läden und öffentlichen Gebäuden einfach nur eine Selbstbestätigung waren oder ob sie als Pendant öffentlicher Ehrungen auch gesehen und gelesen werden sollten, lässt sich meines Erachtens nicht sagen. Es lässt sich lediglich konstatieren, dass das Einritzen von Figuren, Symbolen, Wörtern und Texten recht beliebt gewesen zu sein scheint. Vollumfassende Lese- und Schreibkenntnisse müssen wir dafür nicht zwangsläufig voraussetzen – sie waren wohl nur einem kleinen Bevölkerungsteil vorbehalten, jedoch besaßen vermutlich etliche Bürger zumindest Basiskenntnisse, die zum Schreiben des eigenen Namens oder häufig wiederholter Floskeln ausreichten.

Anders als in Herculaneum, das wegen seiner modernen Überbauung nur zu einem kleinen Teil ausgegraben werden

konnte, bietet sich uns in Pompeji zudem eine ganze Stadt, an der sich Stadtplanung und Infrastruktur untersuchen lassen: die Organisation verschiedener Stadtareale, die Verteilung von privaten, öffentlichen und kommerziell genutzten Räumen und Gebäuden, die Regulierung des Verkehrs, die Eigentumsverhältnisse und Nutzung öffentlich zugänglicher Flächen wie Fassaden und Bürgersteige etc. Die Anbringungsorte der farbigen Dipinti – Inschriften auf Wand- und Steinflächen – und der Graffiti liefern zudem Hinweise auf zentrale Werbeflächen und beliebte Treffpunkte, auf Sozialstrukturen und Wählerschaften. Nichtsdestoweniger bleiben selbst in den Vesuvstädten, die einen so perfekt versiegelten Befund darzustellen scheinen, noch viele Fragen offen – nicht zuletzt diejenige nach ihren Einwohnerzahlen und nach den Besitzern der einzelnen Häuser und Läden.

#### Neue Debatte um genaues Datum

2018 haben mehrere Entdeckungen, die im Zuge von Sicherheitsmaßnahmen und Stabilisierungen auf dem Gelände gemacht wurden, großes Aufsehen in der Presse erregt. In den sozialen Medien informierte der Parco Archeologico di Pompeii über die Neufunde aus der sogenannten Regio V, einem Areal im Norden der Stadt. Dazu gehörten ein reich dekoriertes Lararium (Schrein) für den Hauskult, ein in leuchtenden Farben erhaltenes Fresko von Leda

#### Vernetzte Kulturforschung

Das Heidelberg Zentrum Kulturelles Erbe (Heidelberg Center for Cultural Heritage, HCCH) wurde mit dem Ziel gegründet, die Heidelberger Grundlagenforschung zu kulturellen Hinterlassenschaften vergangener und gegenwärtiger Gesellschaften nachhaltig zu vernetzen sowie langfristig auszubauen. Eine der wesentlichen Aufgaben des HCCH ist es dabei, die Ergebnisse disziplinärer und interdisziplinärer Grundlagenforschung auf die Analyse, Dokumentation, Erschließung und Pflege sowie auf die museale Präsentation und lebendige Vergegenwärtigung dieses kulturellen Erbes anzuwenden. Dies geschieht unter besonderer Berücksichtigung und Nutzung von wissenschaftlichen Sammlungen an der Universität Heidelberg. Durch den Aufbau eines multi- und interdisziplinär arbeitenden Kompetenznetzwerks, das insbesondere die enge Vernetzung mit außeruniversitären (Forschungs-)Institutionen wie Museen, Weltkulturerbestätten und Behörden der Denkmalpflege der Region pflegt, begegnet das Zentrum den vielfältigen Herausforderungen, die sich in wissenschaftlicher, politischer, rechtlicher und sozial-kultureller Hinsicht aus der Erforschung und dem Erhalt des kulturellen Erbes der Menschheit ergeben.

[www.uni-heidelberg.de/hcch](http://www.uni-heidelberg.de/hcch)

mit dem Schwan sowie ein mit Kohle geschriebener Graffito. Er nennt das Datum des 17. Oktober, jedoch ohne zugehöriges Jahr. Hieran hat sich die Debatte darum, wann genau Pompeji untergegangen ist, neu entzündet. Für das Datum des Vesuvausbruchs gibt es im Wesentlichen zwei Thesen, den 24. August und den 23. November. Der neue Graffito stammt aus dem Zimmer eines Hauses, das sich offenbar zum Zeitpunkt des Vesuvausbruchs im Umbau befand, und da Kohleinschriften ohnehin nur sehr kurzlebig seien, müsse der jüngst freigelegte Graffito aus dem Jahr des Untergangs sein, belege also das spätere Datum für die Eruption, argumentieren einige Kollegen.

Argumente gibt es für beide Seiten – einmal auf die literarische Überlieferung des Plinius gestützt, einmal auf archäologische Funde: Einer der Briefe des Plinius des Jüngeren nennt den 24. August als Datum. Ein späterer Bericht des Historiografen Cassius Dio (Römische Geschichte LXVI, 21-24) verweist dagegen auf das Ende des Sommers. Funde von Herbstfrüchten, Kohlebecken zur Beheizung von Häusern sowie bereitgestellte Vorratsgefäße für Wein (der nicht vor September hergestellt wurde) unterstützen diese späte Datierung, ebenso wie eine Verbindung mit Münzfunden, die der Heidelberger Althistoriker Géza Alföldy hergestellt hatte. Das würde allerdings bedeuten, dass die Datumsangabe bei Plinius inkorrekt ist; hier wäre eine mögliche Erklärung, dass der Monat August bei Plinius ein Überlieferungsfehler ist, sich also in einer späteren Abschrift eingeschlichen hat. Demnach könnte die ursprüngliche Angabe bei Plinius „neun Tage vor den Kalenden des Dezembers“ anstelle „[...] des Septembers“ geheißen haben, was den 23. November anstatt des 24. Augusts meinen würde, wie bereits der Philologe Carlo Maria Rosini im 19. Jahrhundert argumentiert hatte.

Zahlenmäßig sprechen mehr Argumente für die spätere Datierung des Vesuvausbruchs im Herbst 79 n. Chr. Der neu entdeckte Kohlegraffito kann die Beweisführung jedoch nicht unterstützen, denn seine tatsächliche Datierung ist unklar. Der Text enthält keinen Hinweis auf sein Entstehungsjahr, und allein mit dem Schreibmaterial lässt sich nicht argumentieren, denn es gibt – wenn auch nur wenige – Kohlegraffiti, die die Ausgrabungen überlebt haben und die ich selbst dokumentiert habe. Sie sind also gute Gegenbeispiele, dass Kohleinschriften nicht so kurzlebig sind, wie wir annehmen möchten. Insofern stehen wir auch hier weiterhin vor einer unbeantworteten Frage. Dass der Neufund aus einem Raum im Umbau stammt, braucht uns dabei nicht zu verwundern, denn zahlreiche Gebäude Pompejis waren bei einem größeren Erdbeben 62 n. Chr. oder kleineren Nachbeben beschädigt worden; diese waren möglicherweise bereits Vorboten des Vesuvausbruchs und jedenfalls der Grund dafür, dass Renovierungs- und Restaurierungsarbeiten 79 n. Chr. noch an etlichen Orten im Gange waren.

### Störungen durch Plünderer

Nicht nur aufgrund dieser noch andauernden Arbeiten, für die manche Wohnräume umfunktioniert werden mussten, können wir im Falle Pompejis kaum von einem Alltag in Momentaufnahme sprechen. Vor allem die Geschehnisse während und in der Folgezeit des Vulkanausbruchs haben die Momentaufnahme durchbrochen, die ich in mehrere Phasen einteile: Viele Bewohner der Stadt waren mit ihrem Hab und Gut auf der Flucht. Nach der Verschüttung Pompejis durch Asche und Bimsstein kehrten Überlebende und Plünderer zurück, um in den Ruinen nach Wertsachen zu graben, denn offenbar ragten Gebäudespitzen noch aus dem Schutt und halfen bei der Orientierung in dem verschütteten Stadtareal. Löcher in Gebäudewänden, durch die Plünderer sich von Raum zu Raum vorarbeiteten, zeugen von diesen Störungen, die Jens-Arne Dickmann - bis vor einigen Jahren am Institut für Klassische Archäologie der Universität Heidelberg tätig - exemplarisch kartiert hat. Es wurden allerdings auch offizielle Grabungen auf kaiserliche Anordnung durchgeführt, um wiederverwertbares Baumaterial wie den Marmor des Forums von Pompeji zu bergen; ein eigenes Konsortium - die *curatores restituendae Campaniae* - war mit dem Wiederaufbau der Region betraut. Zu guter Letzt sind auch die frühen Grabungen in bourbonischer und späterer Zeit, die noch nicht nacheinander einzelne Schichten abhoben, um zeitliche Abfolgen nachvollziehen zu können, sondern primär an der Präsentation spektakulärer Funde interessiert waren, mitverantwortlich dafür, dass es sich in Pompeji nicht um einen versiegelten Befund handelt.

### Konstante Gefährdung

Heute strömen jährlich rund drei Millionen Touristen nach Pompeji: Touristen, die in Gruppen zu immer denselben Stationen geführt werden, die über antike Bürgersteige wandern, Fresken berühren, Müll hinterlassen, im schlimmsten Fall Mosaiksteine entfernen oder Telefonnummern an die Wände schreiben. Sie betreten die Stadt

über einen steilen Anstieg von Südwesten, durch die Porta Marina, bewundern die heute zwei Spitzen des Vesuvs vom Forum aus, machen eine Mittagspause auf den rekonstruierten Stufen des Theaters und lernen römische Badekultur in den Stabianer Thermen kennen, bevor es als Highlight in das Bordell in der Regio VII geht. Das Eckhäuschen ist symptomatisch für den Besucherandrang in der antiken Kleinstadt: Die Warteschlange durchzieht an Sommertagen die ganze Straße. Dicht an dicht drängeln sich die Besucher durch die fünf winzigen Zellen, über deren Türen gemalte erotische Szenen unmissverständlich die hier käuflichen Serviceleistungen illustrieren. Sex sells, auch heute noch - mit Folgen für die antike Bausubstanz.

Nur wer Zeit und Entdeckerlust hat und nicht dem Zwang einer geführten Gruppe unterliegt, kann sich in den leeren Gässchen der Regio VIII im Süden der Stadt verlieren, die wunderbaren Fresken der Casa di Marcus Lucretius Fronto in Stille bewundern oder die Stadt bei einem frühabendlichen Spaziergang entlang der Stadtmauern („*passeggiata sulle mura*“) von oben betrachten.

### Originale und Abgüsse: Die Antikensammlung

Aus dem 1835 gestifteten „*Antiquarium Creuzerianum*“, benannt nach dem Heidelberger Philologen Georg Friedrich Creuzer, ging 1848 die archäologische Sammlung der Universität Heidelberg hervor. Seither beständig um antike Originale und Abgüsse plastischer Bildwerke erweitert, bildet die Antikensammlung heute eine der größten archäologischen Universitätssammlungen in Deutschland. Von ihrer Entstehung und ihrer primären Funktion her handelt es sich um eine universitäre Lehrsammlung, deren Exponate in Forschung und Lehre einbezogen werden, aber auch für öffentliche Führungen, Vortragsreihen und Schulprojekte genutzt werden. Im Zuge der Sanierung des Kollegiengebäudes wird die Antikensammlung derzeit neu konzeptioniert.

Mehr als 8.000 originale Objekte vermitteln einen breiten Überblick über die antiken Kulturen des Mittelmeerraums vom 3. Jahrtausend v. Chr. bis in die römische Kaiserzeit: griechische und etruskische Vasen, römische Gefäße sowie Objekte aus Stein, Bronze, Glas oder Bein wie Figuren, Reliefs, Architekturelemente, Schmuck und Alltagsgegenstände aus Griechenland, Italien, Zypern und Vorderasien. An den Gipsabgüssen lässt sich die Entwicklung der griechischen Plastik von ihren Anfängen bis in die römische Kaiserzeit verfolgen. Die Originale der Statuen und Reliefs aus Marmor oder Bronze befinden sich in vielen bedeutenden Museen der Welt.

„Heute ist die  
Kultur der  
größte Feind  
Pompejis.“



DEFENCELESS

# CULTURE AND NATURE IN POMPEII

POLLY LOHMANN

Pompeii is both a blessing and a curse for archaeologists: buried by the eruption of Mount Vesuvius in AD 79, the whole city has been preserved under layers of ash and offers scholars unique insights into daily life in antiquity. For the same reason, however, it is also one of the most visited historical sites in the world, which causes major conservational issues. Once defeated by nature, Pompeii is today most at risk from (our own) culture.

While the emotionally charged site raises high expectations in both tourists and scholars, it is worth keeping in mind that Pompeii is much less a “frozen-in-time-capsule” and “fossilised snapshot of daily life” than we like to think. Not only did inhabitants escape, or try to escape, taking with them their most precious belongings, as evidenced by skeletons found at the site; former inhabitants, looters and contract workers also returned to the buried city to recover valuable material. Finally, the early excavations on site were more of a treasure hunting which means that finds and results sometimes are not comprehensible. ●

DR POLLY LOHMANN joined Heidelberg University in 2018 as a lecturer and curator of the antiquities collection at the Institute for Classical Archaeology and the Heidelberg Center for Cultural Heritage. She was awarded the travel grant of the German Archaeological Institute for her doctoral thesis on graffiti in Pompeian homes. Her research interests are Roman living and graffiti; in her role as curator, she also investigates 19th-century research networks around the Heidelberg professor Friedrich von Duhn, as well as the history and reconception of the antiquities collection.

Contact: polly.lohmann@uni-heidelberg.de

**“Pompeii’s  
fascination  
is both a  
blessing and  
a curse.”**

# „Pompejis Faszination ist Nutzen und Übel zugleich.“

Mehr als drei Millionen Besucher jährlich sind ein konservatorischer Super-GAU, dem die sogenannte Soprintendenza – die lokale archäologische Verwaltung – unter Massimo Osanna mit verschiedenen Maßnahmen entgegenzutreten versucht: mit alternativen Besucherrouten, mit groß angelegten Restaurierungskampagnen und Konservierungsmaßnahmen im Rahmen des „Grande Progetto“, einem 2012 von der italienischen Regierung ins Leben gerufenen EU-Projekt für Pompeji. 105 Millionen Euro sind geflossen, etliche pompejanische Wohnhäuser, die viele Jahre aus Sicherheitsgründen geschlossen waren, konnten wiedereröffnet werden. Junge Archäologinnen und Archäologen wurden eingestellt, Vetterwirtschaft durch Fachkräfte ersetzt – auch das ist Teil der Herausforderung der Verwaltung eines archäologischen Parks dieser Bedeutung in Italien.

Heute ist die Kultur der größte Feind Pompejis – so wie für alle archäologischen Ausgrabungen gilt: Einmal freigelegt, sind Funde und Befunde, die Jahrhunderte oder Jahrtausende von Erde, Asche oder Sand in einem gewissermaßen eigenen Biotop geschützt waren, konstant gefährdet. Zeit, Aufwand und Kosten der Konservierung übersteigen bei Weitem die der Ausgrabung. Wer Archäologie nur mit Ausgrabung verbindet, sollte dabei auch an Dokumentation, Restaurierung, Verwaltung und Vermittlung denken. ●

# RECHT, GERECHTIGKEIT UND MORAL

RECHT, GERECHTIGKEIT UND MORAL

# DIE DEBATTE UM NATURRECHT UND RECHTS- POSITIVISMUS

MARTIN BOROWSKI

**Muss Recht notwendig gerecht sein? Der Umgang mit dieser Frage zeigt einen zentralen Unterschied zwischen Naturrecht und Rechtspositivismus auf: Während das Naturrecht von einem notwendigen Zusammenhang zwischen Recht und Moral ausgeht, existiert nach dem Rechtspositivismus keine solche Verbindung. Praktische Bedeutsamkeit erlangt diese Unterscheidung vor allem bei der Überwindung der Folgen von Unrechtssystemen. Hier hat der Heidelberger Rechtsphilosoph Gustav Radbruch mit seiner „Radbruchschen Formel“ Maßstäbe gesetzt, die auch beim Umgang mit der deutschen Vergangenheit im 20. Jahrhundert zum Tragen kamen.**

# B

Bei unbefangener Betrachtung besitzt die Gerechtigkeit entscheidende Bedeutung für das Recht. Viele würden ohne Weiteres die Erwartung an das Recht formulieren, es müsse eine gerechte Verteilung von Gütern und Lasten garantieren und Streitigkeiten bei dieser Verteilung auch gerecht entscheiden. Justitia ist die römische Göttin der Gerechtigkeit, und es kommt nicht von ungefähr, dass der zur Rechtspflege ermächtigte Teil der staatlichen Gewalt als Justiz bezeichnet wird. Zudem hat jeder Mensch einen mehr oder weniger entwickelten Gerechtigkeitssinn. Viele fühlen sich berufen, die Handlungen des Staates oder anderer Menschen an Forderungen der Gerechtigkeit zu messen, zu bewerten und nicht selten auch zu kritisieren. Das als ungerecht empfundene Urteil eines Gerichts kann durchaus starke Empörung auslösen. Vor diesem Hintergrund sollte man erwarten, dass die Gerechtigkeit in der Rechtspraxis und der akademischen Rechtswissenschaft eine herausragende Rolle spielt.

Je fester man aber nach der Gerechtigkeit greift, desto entschlossener scheint sie sich der Erkenntnis zu entziehen. Die ursprünglich unbefangene Sicherheit hinsichtlich des intuitiven Gerechtigkeitsgefühls wird erschüttert, ohne dass deutlich wird, ob und wie man universelle Gerechtigkeitskriterien objektiv begründen kann, und wenn ja, welche. Beobachtet man die Rechtspraxis, spielt die unmittelbare Berufung auf die Gerechtigkeit bestenfalls eine höchst untergeordnete Rolle. Ein Richter ist nicht frei, einen Rechtsfall anhand seiner eigenen Gerechtigkeitsvorstellung zu entscheiden. Er ist an Recht und Gesetz gebunden, vor allem an Parlamentsgesetze und Rechtsverordnungen. Diese enthalten autoritative Festsetzungen, welche durch Auslegung ermittelt werden müssen. Dabei stehen der Wortlaut dieser Gesetze und Verordnungen und der Wille des Gesetzgebers sowie die Systematik des betreffenden Gesetzeswerks und des Rechts überhaupt im Zentrum: Was hat der Gesetzgeber autoritativ angeordnet, und hat der Rechtsanwender angesichts dieser Festsetzungen überhaupt noch einen Spielraum? Die Argumentation zu den maßgebenden Voraussetzungen von rechtlichen Ansprüchen trägt oft technische und bisweilen bürokratische Züge.

**Der Zusammenhang zwischen Recht und Moral**  
Dementsprechend befasst sich die Rechtsphilosophie zwar auch, aber keineswegs hauptsächlich mit verschiedenen

Gerechtigkeitsatheorien. Im Vordergrund steht vielmehr die vorgelagerte Frage, ob die Gerechtigkeit bei der Anwendung des positiven Rechts notwendig eine Rolle spielt. Nach dem Rechtspositivismus existiert keine notwendige Verbindung von Recht und Moral. Dies bedeutet, dass ein Richter Normen des positiven Rechts, die ordnungsgemäß gesetzt wurden und sozial wirksam sind, stets anwenden muss. Sie wurden ordnungsgemäß gesetzt, wenn sie von den zuständigen Organen in den hierfür vorgesehenen Verfahren erlassen wurden – beispielsweise vom Bundestag im Rahmen der Gesetzgebungskompetenzen des Bundes und im Verfahren der Gesetzgebung nach dem Grundgesetz. Sozial wirksam sind Normen, wenn sie in einem Mindestmaß befolgt werden und ihre Nichtbefolgung in einer hinreichenden Zahl von Fällen wirksam sanktioniert wird. Die moralische Richtigkeit oder Gerechtigkeit der so erzeugten Normen spielt nach dem Rechtspositivismus nicht notwendig eine Rolle. Dies bedeutet, dass der Richter ordnungsgemäß gesetzte und sozial wirksame Normen auch dann anwenden muss, wenn sie sich als ungerecht oder sogar extrem ungerecht erweisen. Der Wiener Rechtspositivist Hans Kelsen hat dies mit dem berühmten Ausspruch „Daher kann jeder beliebige Inhalt Recht sein“ zum Ausdruck gebracht. Der fehlende notwendige Zusammenhang von Recht und Moral impliziert auch, dass der Richter in den Spielräumen, die das positive Recht ihm lässt, nicht nach der gerechtesten Lösung suchen muss – er ist grundsätzlich frei, nach beliebigen Kriterien zu entscheiden.

Das Naturrecht oder der Nichtpositivismus geht hingegen von einem notwendigen Zusammenhang von Recht und Moral aus. Unter „Moral“ wird dabei – ebenso wie beim Rechtspositivismus – die „richtige“ Moral verstanden. Dies sind die moralischen Ge- und Verbote, die sich begründen lassen. Die richtige Moral ist zu unterscheiden von der positiven Moral einer Gesellschaft, welche durch die tatsächlichen Gerechtigkeitsauffassungen gekennzeichnet wird,

also durch soziale Fakten. Die „richtige“ Moral nimmt eine kritische Dimension an, wenn sie die positive Moral infrage stellt. Beispielsweise war die Sklaverei nach der positiven Moral einiger früherer Gesellschaften zulässig, während die moralische Reflexion inzwischen zu dem fast universellen Konsens geführt hat, dass die Zulässigkeit der Sklaverei nicht moralisch gerechtfertigt werden kann. Unter dem Eindruck von Argumenten zur „richtigen“ Moral hat sich die positive Moral gewandelt.

#### **Das Argument der Rechtssicherheit**

Allerdings ist umstritten, ob man moralische Ge- und Verbote, die universell gelten, überhaupt überzeugend begründen kann. Nach dem Argument des Relativismus soll dies nicht möglich sein – moralische Gebote haben dann, zugespitzt gesagt, den Status von Geschmacksurteilen. Anders gesagt: Richtige Moral kann nicht begründet werden, es kann nur positive Moral geben. Gewiss kann man nicht eine gerechte Lösung aller Streitigkeiten zwischen Menschen unmittelbar aus der Moral begründen. Eine Begründung moralischer Forderungen wird aber deutlich plausibler, wenn es um wirklich fundamentale Interessen von Menschen geht. Auch wenn über die philosophische Begründung der Grund- und Menschenrechte nach wie vor diskutiert wird, gibt es eine verbreitete und starke Intuition, dass sich der Schutz besonders wichtiger menschlicher Interessen, der Schutz von Kerngehalten der Grund- und Menschenrechte, begründen lässt. Wenn sich dies als richtig erweisen sollte, wäre die absolute Version des Relativismus zurückgewiesen.

Wenn man nur extremes Unrecht im Sinne der Kerngehalte der Grund- und Menschenrechte erkennen und begründen kann, wird damit auch das Rechtssicherheitsargument weitgehend relativiert. Dieses Argument macht geltend, dass die Rechtssicherheit leidet, wenn man die Identifikation geltenden Rechts von seiner moralischen

**„Das Naturrecht geht  
von einem notwendigen  
Zusammenhang von  
Recht und Moral aus.“**



**PROF. DR. MARTIN BOROWSKI** hat seit 2012 die Professur für Öffentliches Recht, Verfassungstheorie und Rechtsphilosophie am Institut für Staatsrecht, Verfassungslehre und Rechtsphilosophie der Universität Heidelberg inne. Nach Jurastudium, Promotion und Habilitation an der Universität Kiel war er zunächst Visiting Professor an der School of Law der Washington University in St. Louis (USA). Von 2006 bis 2012 forschte und lehrte er an der Westminster University in London und der University of Birmingham (Großbritannien). Seit 2014 ist er Vorstandsmitglied der deutschen Sektion der Internationalen Vereinigung für Rechts- und Sozialphilosophie.

Kontakt: martin.borowski@jurs.uni-heidelberg.de

Richtigkeit abhängig macht. Wenn moralische Richtigkeit nicht begründet werden kann, wäre es in der Tat unverünftig, die Existenz von Recht hiervon abhängig zu machen. Kann man aber Kerngehalte doch hinreichend sicher begründen, leidet die Rechtssicherheit wenig.

#### Die Radbruchsche Formel

Praktisch bedeutsam wird der Streit um Rechtspositivismus und Naturrecht vor allem in zwei Kontexten: erstens ganz grundsätzlich im Rahmen der Auslegung innerhalb der Spielräume des positiven Rechts und zweitens bei der Überwindung der Folgen von Unrechtssystemen. Auf deutschem Boden wurde dies im 20. Jahrhundert zweimal wichtig: nach dem Zusammenbruch des nationalsozialistischen Systems im Jahre 1945 und nach dem Untergang der DDR im Jahre 1989. In Schriften unmittelbar nach Ende des Zweiten Weltkrieges hat der Heidelberger Rechtsphilosoph Gustav Radbruch die Formel geprägt, nach der (i) ein unerträglicher Widerspruch zwischen positivem Recht und Gerechtigkeit oder (ii) das Verleugnen der Gerechtigkeit dazu führt, dass der Richter an das entsprechende positive Recht nicht gebunden ist – im Falle des unerträglichen Widerspruchs wegen fehlender rechtlicher Geltung, im Falle der Verleugnung, weil schon gar kein „Recht“ vorliege. Richter sind nach Radbruch in derartigen Fällen ermächtigt und verpflichtet, solch eklatant moralisch fehlerhafte Normen bei der Entscheidung des anhängigen Falles außer Acht zu lassen. Aufgrund der extremen Diskriminierung von Juden und anderen Minderheiten, die zur Vorenthaltung von Menschenrechten führte, sah Radbruch in den entsprechenden Vorschriften des nationalsozialistischen Rechts eine Verleugung der Gerechtigkeit. Die Radbruchsche Formel fand auch in einer Reihe von Entscheidungen deutscher Gerichte in der Nachkriegszeit Anwendung.

Nach dem Untergang der DDR kam die Frage auf, ob die „Mauerschützen“ – die DDR-Grenzschilder, die an der Berliner Mauer und der innerdeutschen Grenze diejenigen erschossen, die dem kommunistischen Regime entflohen wollten – strafrechtlich zur Verantwortung gezogen werden können und müssen. Dies läuft auf eine Anwendung der Radbruchschen Formel im Strafrecht hinaus. In diesem Bereich werden die Dinge – zumindest auf den ersten Blick – durch das strafrechtliche und verfassungsrechtliche Rückwirkungsverbot verkompliziert: Kann man einen ehemaligen Grenzschilder nach dem Untergang des Regimes wegen Mordes oder Totschlags verurteilen, wenn diejenigen, die um jeden Preis „Grenzdurchbrüche“ verhinderten, unter dem Regime nicht bestraft, sondern belobigt und belohnt wurden?

Die Meinungen waren in beiden Fällen geteilt. Die Radbruchsche Formel impliziert eine notwendige Verbindung von Recht und Moral, der Rechtspositivisten definitionsgemäß widersprechen müssen. Diejenigen, die sich grundsätzlich mit einer notwendigen Verbindung von Recht und

„Die ‚richtige‘ Moral nimmt eine kritische Dimension an, wenn sie die positive Moral infrage stellt.“

# „Die Radbruchsche Formel impliziert eine notwendige Verbindung von Recht und Moral, der Rechtspositivisten definitionsgemäß widersprechen müssen.“

Moral nach Art der Radbruchschen Formel anfreunden konnten, waren sich aber weitgehend darüber einig, dass zentrale Teile des nationalsozialistischen Unrechts die Schwelle der Verleugnung der Gerechtigkeit beziehungsweise der unerträglichen Ungerechtigkeit erreichten. Was soll extremes Unrecht darstellen, wenn nicht der Rückfall in die Barbarei durch die Nationalsozialisten?

Für die Strafbarkeit des Handelns der Mauerschützen nach dem Untergang der DDR war das Spektrum der Meinungen komplizierter. Rechtspositivisten hielten eine Bestrafung derartiger Taten auch in diesem Kontext für unzulässig, und selbst unter den grundsätzlichen Befürwortern der Radbruchschen Formel war recht umstritten, ob die Taten der ehemaligen Grenzschilder „extremes Unrecht“ im Sinne dieser Formel darstellten.

## Zwei Herausforderungen

Auch wenn die Radbruchsche Formel seit nunmehr fast 75 Jahren im Zentrum der deutschsprachigen Debatte um Rechtspositivismus und Naturrecht steht, hat sich die Diskussion gerade in den letzten gut zehn Jahren weiterentwickelt. Die Autoren in den ersten Jahrzehnten nach Radbruch konzentrierten sich so gut wie ausschließlich auf die Formel von 1946 und hielten hier allein den ersten Teil, die Unerträglichkeitsformel, für maßgebend. Seit einigen Jahren werden zunehmend die Wurzeln der Nachkriegsformel in den Vorkriegsschriften in die Betrachtung einbezogen. Damit entsteht ein reichhaltigeres und tieferes

Bild, in dem auch die Verleugnungsformel, der zweite Teil der Formel, ihren Platz findet. Auch die Veränderung der Radbruchschen Lehre über die Zeit hinweg kann damit besser erfasst werden. Während in der ersten Periode der Rezeption der Radbruchschen Formel die Bekehrungsthese vorherrschte, nach der Radbruch durch die Gräueltaten der Nationalsozialisten vom Rechtspositivisten zum Naturrechtler bekehrt wurde, gewinnt die These der nichtpositivistischen Kontinuität zunehmend Anhänger – nach dieser These war Radbruch von Anfang an Naturrechtler, nur dass dies in späteren Schriften klarer erkennbar wurde.

Mit Blick auf die Radbruchsche Formel steht die Rechtsphilosophie gegenwärtig vor zwei Herausforderungen. Die erste besteht darin, diese Formel, deren Grundlagen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts liegen, mit heutigen Theorien zu vergleichen und zu kontrastieren. Der deutsche Rechtsphilosoph Robert Alexy kommt mit seinem „Unrechtsargument“ zu nahezu identischen Ergebnissen, begründet dies aber mit analytischen, sprachphilosophischen und auch normativen Argumenten. Radbruch stützt dagegen seine Lehre auf den Neukantianismus, ohne dies für rechtfertigungsbedürftig zu halten: Er sieht das Recht durch die „wertbeziehende Haltung“ gekennzeichnet, die für Kulturwissenschaften charakteristisch ist, und stellt dies nicht zuletzt der „wertblinden Haltung“ gegenüber, welche die Naturwissenschaften einnehmen. Für Alexy hingegen besteht ein zentrales Charakteristikum im Anspruch auf Richtigkeit, den das Recht notwendig erhebt –



LAW, JUSTICE AND MORALITY

# THE DEBATE ON NATURAL LAW AND LEGAL POSITIVISM

MARTIN BOROWSKI

At first glance, one would expect justice to play a pivotal role in law. The harder we try to understand justice, however, the more it seems to escape our cognition. Legal doctrine focuses on positive law. In legal practice, direct references to justice are often belittled as unprofessional. According to the positivistic argument from relativism, there can be no rational cognition of justice or morality. Legal positivism maintains that the elements of law are confined to authoritative issuance and social efficacy.

There is, however, a strong and commonly shared belief that at least the core of human rights can be rationally justified. If this is true, it suggests itself that morality demands that extreme unjust positive law cannot be regarded as valid law. This is the foundation for Gustav Radbruch's formula, established immediately after the collapse of the National Socialist regime. According to this formula, intolerably unjust positive law is invalid and positive law that disavows justice is not even law at all. The practical implication of this formula is that judges are empowered and, indeed, under an obligation to disapply extremely unjust provisions of positive law. After the War, German courts used this formula to invalidate certain outrageous legal consequences of Nazi law and it was invoked after 1989 in the context of punishing members of the East German border troops for border shootings.

The Radbruch formula raises, however, quite a few questions. What is the precise relation between "intolerable injustice" and the "disavowal of justice"? How can one determine whether the relevant criteria are met? Is it possible to reconstruct Radbruch's neo-Kantian approach to legal philosophy in a more analytical, modern framework of legal philosophy, such as Robert Alexy's theory, which embraces the "argument from injustice"? The challenge is to bring together German legal philosophy against the backdrop of German historical experience and contemporary and international approaches to the role of morality in law. ●

**“Natural law posits a  
necessary connection between  
law and morality.”**

PROF. DR MARTIN BOROWSKI is Professor for Public Law, Constitutional Theory and Legal Law at Heidelberg University's Institute for Constitutional Law, Constitutional Theory and Legal Philosophy, a position he has held since 2012. After graduating university with a law degree and completing his doctoral programme and habilitation at the University of Kiel, he was visiting professor at the School of Law of Washington University in St. Louis (USA). From 2006 to 2012 he held teaching and research positions at Westminster University in London and at the University of Birmingham (UK). In 2014 he joined the board of the German section of the International Association of Legal and Social Philosophy.

Contact: martin.borowski@jurs.uni-heidelberg.de

„Richtigkeit“ meint dabei moralische Richtigkeit. Dies ist ähnlich, aber nicht das Gleiche. Also: Welcher genaue Rechtsbegriff ist vorzugswürdig und mithilfe welcher Argumente lässt er sich bestmöglich begründen?

Der Vergleich mit Alexys Lehre führt zur zweiten Herausforderung: Während Alexys zentrale Schriften der letzten drei oder vier Jahrzehnte ins Englische, Spanische und oft auch in andere Sprachen übersetzt wurden, sind Radbruchs Werke den nicht deutschsprachigen Rechtsphilosophen nur sehr begrenzt zugänglich. Radbruchs systematisches Hauptwerk, die „Rechtsphilosophie“ aus dem Jahre 1932, erschien 1950 in der bislang einzigen englischen Übersetzung in der Harvard University Press. Angesichts der Weiterentwicklungen in der Interpretation von Radbruchs Lehre wäre es aber gewiss an der Zeit für eine gründlich überarbeitete Übersetzung. Hinzu kommt, dass die kantischen und neukantianischen Linien der Radbruchschen Rechtsphilosophie für die international einflussreiche angelsächsische Tradition in der Rechtsphilosophie weitgehend unbekannt und auf den ersten Blick auch kaum verständlich sind. Ein Lichtblick in diesem Bereich war sicher die exzellente Übersetzung der beiden wichtigsten Nachkriegsaufsätze Radbruchs im „Oxford Journal of Legal Studies“ im Jahre 2006 durch den US-amerikanischen Rechtsphilo-

sophen Stanley L. Paulson: In einem Begleitartikel erfährt der englischsprachige Leser ebenso kundig wie prägnant den Hintergrund und die Bedeutung der Radbruchschen Formel.

#### Internationale Brücken

Wir Rechtswissenschaftler am Institut für Staatsrecht, Verfassungslehre und Rechtsphilosophie der Universität Heidelberg sehen uns vor die Aufgabe gestellt, die reichhaltige deutsche rechtsphilosophische Tradition weiterzuentwickeln und internationale Brücken auszubauen. Beispielsweise fand im Jahre 2016 im Internationalen Wissenschaftsforum Heidelberg das zweisprachige Symposium „Modern German Non-Positivism – From Radbruch to Alexy“ mit achtzehn Teilnehmern aus acht Ländern statt. Zudem gehen aus unserem Institut regelmäßig auch gerade englischsprachige Publikationen zur Rekonstruktion von Radbruchs Rechtsphilosophie hervor, die Verbindungslinien zu anderen rechtsphilosophischen Traditionen und Kulturen herstellen. Es besteht durchaus reges internationales Interesse an dem rechtsphilosophischen Umgang mit der deutschen Vergangenheit. Die Frage nach dem Begriff des Rechts ist ebenso zeitlos wie genuin rechtssystemübergreifend, und die deutschsprachige Tradition ist hierzu durchaus reich. ●

**„Selbst unter den grundsätzlichen Befürwortern der Radbruchschen Formel war recht umstritten, ob die Taten der DDR-Mauerschützen ‚extremes Unrecht‘ im Sinne dieser Formel darstellten.“**

**INFORMATIONEN AUS DER BRONZEZEIT**

INFORMATIONEN AUS DER BRONZEZEIT

# DIE KRIMINALTECHNIK DER ARCHÄOLOGIE

ERNST PERNICKA

Nach der Entdeckung der Himmelscheibe von Nebra entwickelte sich ein jahrelanger Krimi um die Frage nach der Echtheit dieses spektakulären archäologischen Funds. Dass es sich bei der Scheibe um keine Fälschung handelt, sondern tatsächlich um die aus der Bronzezeit stammende älteste konkrete Darstellung kosmischer Phänomene, konnte mithilfe archäometrischer Analysetechniken nachgewiesen werden. Als multidisziplinäres Forschungsgebiet klärt die Archäometrie kulturhistorische Fragen mit naturwissenschaftlichen Mitteln – und nähert sich damit beispielsweise auch Schritt für Schritt der Lösung eines der größten Rätsel der archäologischen Forschung: der Herkunft des bronzezeitlichen Zinns.



Im Jahr 1959 hielt der britische Literat und Wissenschafts-administrator Charles Percy Snow an der Universität Cambridge eine Vorlesung über „The Two Cultures and the Scientific Revolution“. Er stellte eine zunehmende Verständnis- und Sprachlosigkeit zwischen Geistes- und Naturwissenschaften fest, die auf lange Sicht negative Auswirkungen auf ein modernes Industrieland haben könnte. Dieses Schlagwort der zwei Kulturen hat ein großes Echo gefunden und wird immer wieder in Diskussionen zur Bildungs- und Wissenschaftspolitik verwendet.

Allerdings war das besonders in der Archäologie, die heute zu den Geisteswissenschaften gezählt wird, nicht immer so. Schon im 18. Jahrhundert entstanden vor allem in den wissenschaftlichen Akademien Überlegungen, Erkenntnisse und Methoden der Naturwissenschaften zur Lösung archäologischer Fragestellungen zu nutzen. Den Anstoß gaben die Ausgrabungen von Pompeji: Die dort gefundenen antiken Farbstoffe stießen auch bei Naturwissenschaftlern auf reges Interesse. Begünstigt wurde diese Zusammenarbeit durch die Akademien, die den Gedankenaustausch zwischen historischen und naturwissenschaftlichen Disziplinen förderten, und durch die umfassende Bildung der damaligen Gelehrten.

#### **Verknüpfung analytischer und archäologischer Befunde**

Die analysierten Gegenstände bestanden damals wie heute vor allem aus dauerhaften Materialien wie Metall, Glas oder Stein. Diese frühen Analysen erfolgten ausschließlich visuell und mit den Methoden der im Bergbau verwendeten Probierkunde, bei der meist nur die An- oder Abwesenheit eines Elementes festgestellt wurde, weil geeignete experimentelle Methoden zur quantitativen Analyse noch nicht verfügbar waren. Erst dem Berliner Apotheker und Chemiker Martin Heinrich Klaproth (1743 bis 1817) gelang es, durch Entwicklung neuer oder verbesserter Methoden quantitative Analysen durchzuführen, weswegen er auch gelegentlich als „Vater der analytischen Chemie“ bezeichnet wird. Weniger bekannt ist, dass seine ersten quantitativen Metallanalysen an griechischen und römischen Kupfer- und Bronzemünzen durchgeführt wurden. Während diese ersten Analysen vorrangig der Materialbestimmung dienten, verknüpfte schon der Chemie-Professor Karl Christian Traugott Friedemann

Göbel 1842 Analyseergebnisse mit archäologischen Befunden und Fragen nach der Herkunft des Metalls. Der umfangreiche Titel seines damals erschienenen Werks – „Ueber den Einfluß der Chemie auf die Ermittlung der Völker der Vorzeit oder Resultate der chemischen Untersuchung metallischer Alterthümer insbesondere der in den Ostseegouvernements vorkommenden, Behufs der Ermittlung der Völker, von welchen sie abstammen“ – umreißt ganz klar das Programm dieser klassischen archäometrischen Studie: Die Analysen sollten zur Herkunftsbestimmung von Metallartefakten dienen, die aufgrund der Typologie verschiedenen Völkern zugeordnet wurden, wie es damals noch üblich war. Göbel kam zu dem Schluss, dass die „nordischen“ Kupferlegierungen nur Zinn und die „römischen“ außerdem noch Blei und Zink in verschiedenen Verhältnissen enthielten.

Die prähistorische Archäologie entstand im deutschen Sprachraum unter dem Einfluss des Pathologen und Prähistorikers Rudolf Virchow (1821 bis 1902) eher im Nahbereich der Naturwissenschaften. Er formulierte zuweilen bewusst überspitzt, dass die Prähistorie nach naturwissenschaftlicher Methode betrieben werden müsse. Erst im 20. Jahrhundert erfolgte eine Trennung der Archäologie von den Naturwissenschaften durch die Hinwendung zu traditionellen geisteswissenschaftlichen Methoden. Diese Trennung manifestierte sich deutlich mit dem Aufkommen der Radiokarbonmethode zur Absolutdatierung, die besonders prähistorische Archäologen zunächst als Eindringen in ihr ureigenstes Fachgebiet empfanden, vielleicht auch als Gefährdung ihres vermeintlichen Monopols auf die Rekonstruktion der ungeschriebenen Geschichte der Menschheit. Noch 1968 warnte die britische Archäologin Jacquetta Hawkes in der einflussreichen Zeitschrift „Antiquity“ vor der Gefahr, dass „die naturwissenschaftlichen und technischen Diener den Thron der Geschichte usurpieren“ könnten.

Heute werden die naturwissenschaftlichen Methoden in den Kulturwissenschaften als erweiternde Dimensionen der Untersuchungsmöglichkeiten wahrgenommen. Auch wenn das wichtigste Instrumentarium von Archäologen und Kunsthistorikern nach wie vor die menschlichen Sinne sind, ist die Effizienz dieser Mittel beschränkt, die Oberfläche verrät nicht alles über Alter oder Herkunft eines Objekts. Hier bieten sich naturwissenschaftliche Methoden an, um verborgene Informationen zu erhalten, die den stilistischen Analysen nicht zugänglich sind. Selbst unscheinbare Objekte können Informationen über die Herkunft, die Art der Herstellung und das Alter liefern. Man kann deshalb diese als „Archäometrie“ bezeichneten hochkomplexen Analysemethoden als Erweiterung unserer Sinnesorgane mittels naturwissenschaftlicher Verfahren auf dem Gebiet der Kulturwissenschaften beschreiben.

# „Die Archäometrie kann man als Erweiterung unserer Sinnesorgane mittels naturwissenschaftlicher Verfahren auf dem Gebiet der Kulturwissenschaften beschreiben.“

## Die Himmelscheibe von Nebra

Ein spektakuläres Beispiel solcher Zusammenarbeit ist die aus der Bronzezeit stammende Himmelscheibe von Nebra, die als älteste konkrete Darstellung kosmischer Phänomene gilt und deren Echtheit ich mithilfe archäometrischer Analysen nachweisen konnte. Die im Juli 1999 gefundene Scheibe wurde im Juni 2013 in das UNESCO-Register des Weltkulturerbes „Memory of the World“ aufgenommen. Dies war zu Beginn keineswegs selbstverständlich, denn die Himmelscheibe wurde von Sondengängern unsachgemäß geborgen und später von einigen Fachwissenschaftlern als Fälschung bezeichnet. Sogar der durch polizeiliche Ermittlungen aufgedeckte Fundort wurde infrage gestellt. Hier hat sich die Archäometrie nicht nur als Kriminaltechnik der Archäologie, sondern auch des Gerichtes bewährt. Denn im Erdreich der Fundgrube konnten mittels Neutronenaktivierungsanalyse Anreicherungen von Kupfer und sogar Gold nachgewiesen werden, was zumindest beweist, dass an dieser Stelle für lange Zeit Kupfer- oder Bronzeobjekte zusammen mit Gold im Boden lagen.

Für den Nachweis der Echtheit der Himmelscheibe ist aus archäologischer Sicht ihre Einzigartigkeit ein Problem: Wäre sie alleine gefunden worden, wäre ihre zeitliche Einordnung mit den Mitteln der Archäologie unmöglich gewesen. Deshalb war es wichtig, herauszufinden, ob sie

zu den mit ihr gefundenen Schwertern, Beilen und Armreifen passte, denn diese konnten typologisch in die ausgehende Frühbronzezeit um etwa 1600 v. Chr. datiert werden, was zusätzlich durch eine Radiokarbondatierung der Schwerter bestätigt wurde. Da sich in einem der Halbschalengriffe ein Stück Birkenrinde erhalten hatte, konnte diese Methode angewandt werden, die auf dem Zerfall eines bestimmten Kohlenstoffisotops beruht.

Aus naturwissenschaftlicher Sicht besteht das Problem darin, dass es für Metalle keine physikalische Datierungsmethode gibt, weil außer Eisen Metalle praktisch keinen Kohlenstoff enthalten. Bereits in den 1990er-Jahren wurde am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg eine Methode entwickelt, die eine Unterscheidung zwischen altem und modernem Metall erlaubte. Sie beruht darauf, dass die meisten im Altertum gebräuchlichen Metalle wie Kupfer, Blei, Silber oder Zinn unmittelbar nach der Verhüttung aus Erzen schwach radioaktiv sind. Diese Radioaktivität stammt von dem in der Natur vorkommenden Bleisotop  $^{210}\text{Pb}$ , einem Zerfallsprodukt des Urans. Sie kann noch ungefähr hundert Jahre nach der Verhüttung nachgewiesen werden. Danach sinkt der Wert unter die Nachweisgrenze. Da das Metall der Himmelscheibe keine Radioaktivität mehr aufwies, war damit gesichert, dass sie älter als einhundert Jahre ist.



**PROF. DR. ERNST PERNICKA** hatte von 2013 bis zu seinem Ruhestand die von der Klaus Tschira Stiftung geförderte Professur für Archäometrie an der Universität Heidelberg inne. Nach seinem Studium der Chemie und Physik an der Universität Wien (Österreich) befasste er sich zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Heidelberger Max-Planck-Institut für Kernphysik mit Archäometrie und Kosmochemie, bevor er sich 1987 an der Universität Heidelberg für das Fach „Analytische Geochemie“ habilitierte. 1997 wurde er zum Professor für Archäometallurgie an der TU Bergakademie Freiberg berufen, an der er den ersten Studiengang für Archäometrie im deutschsprachigen Raum einrichtete. 2004 übernahm Ernst Pernicka die Professur für Archäometrie am Institut für Ur- und Frühgeschichte der Universität Tübingen, bevor er 2013 an das Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg wechselte. Sein dortiges Forschungsprojekt zur Herkunft von Zinn in der Bronzezeit („BRONZEAGETIN“) wurde mit einem ERC Advanced Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) in Höhe von 2,3 Millionen Euro gefördert. Seit 2018 ist er Seniorprofessor an der Universität Tübingen und Seniorendirektor am Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie in Mannheim, das er seit seiner Eröffnung 2006 leitete und an dem 2010 das Klaus-Tschira-Archäometrie-Zentrum an der Universität Heidelberg eingerichtet wurde. Bekanntheit über sein Fach hinaus erlangte Ernst Pernicka mit seinen Untersuchungen der Himmelscheibe von Nebra und als Grabungsleiter in Troja.

Kontakt: Ernst.Pernicka@geow.uni-heidelberg.de

### Nahezu identisches Spurenelementmuster

Ein Beweis für die Echtheit war das allerdings nicht, denn es könnte Altmetall verwendet worden sein oder man benutzte Metall mit besonders niedriger Ausgangsradioaktivität. Beides ist allerdings nicht sehr wahrscheinlich. Denn wie sich in den weiteren Analysen zeigte, war das Spurenelementmuster des Metalls der Himmelscheibe nahezu identisch mit den mitgefundenen Schwertern und Beilen, an deren Echtheit keine Zweifel bestanden. Ein Fälscher hätte also zuerst deren Metall auf seine Besonderheit hin untersuchen müssen, um dann ein passendes Altmetall zu finden, was ohne Kenntnis der Spurenelementkonzentrationen gar nicht möglich gewesen wäre. Zudem war die  $^{210}\text{Pb}$ -Methode noch nicht publiziert, als die Himmelscheibe mit ihren Begleitfunden entdeckt wurde.

Um das Metallgefüge und die Korrosionsschicht der Himmelscheibe zu untersuchen, wurde ein kleines Blöckchen von fünf Millimeter Seitenlänge herausgeschnitten und später wieder eingesetzt. Als Ergebnis wissen wir, wie die Scheibe durch Gießen und Hämmern hergestellt wurde und wie sie wohl ursprünglich aussah, nämlich dunkelbraun bis schwarz – was einen viel besseren Kontrast zu den Goldauflagen als bei Bronze oder Kupfer ergibt. Außerdem wurde dadurch auf der Scheibe ein realistisches Bild einer bestimmten Konstellation des Nachthimmels dargestellt. Der Aufbau und die Zusammensetzung der Korrosionsschicht bildeten weitere Beweise für ein zumindest hohes Alter der Scheibe. Hier zeigte sich, dass die genaue Kenntnis des Materials und der Herstellungstechnik eine wichtige Voraussetzung für Echtheitsprüfungen ist, die den Erfahrungsschatz des kulturhistorischen Experten immer öfter ergänzt.

### Das Rätsel der Herkunft von Zinn

In einem weiteren Schritt haben wir die Ergebnisse der Kupferanalyse mit einer Datenbank bekannter Lagerstätten verglichen. Dabei sind vor allem die Isotopenverhältnisse des im Kupfer vorkommenden Bleis entscheidend, da diese während der Verhüttung keine Veränderung erfahren und damit den ursprünglichen Erzlagerstätten entsprechen. Der Abgleich führte zu einem ebenso überraschenden wie passenden Ergebnis: überraschend, weil das Kupfer der Nebra-Funde nicht aus nahen Erzvorkommen wie dem Harz oder dem Erzgebirge stammte, sondern aus dem weiter entfernten Ostalpenraum kam – aller Wahrscheinlichkeit nach vom Mitterberg bei Bischofshofen in Österreich. Passend, weil dort tatsächlich seit Langem frühbronzezeitlicher Kupferabbau bekannt ist. Das Kupfer der Himmelscheibe war also ein Fernhandelsprodukt.

Ebenso interessant war die Suche nach der Herkunft der beiden weiteren Metalle, die in der Himmelscheibe verarbeitet sind, nämlich Zinn und Gold. Anders als Kupfer tritt Zinn nur in wenigen Lagerstätten auf, in Europa vor allem im sächsisch-böhmischen Erzgebirge und in Corn-

wall in Südwestengland. Es ist ein altes Rätsel – eines der größten der archäologischen Forschung –, woher das Zinn zur Herstellung der Bronze kam, einer Legierung, die einer ganzen Epoche ihren Namen gab und zuerst in Regionen in Vorderasien auftauchte, wo es praktisch keine Zinnvorkommen gibt. Diesem Rätsel näherten wir uns am Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie in Mannheim mit einer neuen Methode zur Messung der Isotopenverhältnisse des Zinns. Es stellte sich zunächst zu unserer großen Überraschung heraus, dass das Zinn der Himmelscheibe mit großer Wahrscheinlichkeit aus Cornwall im heutigen Großbritannien stammt und nicht aus dem viel näher gelegenen Erzgebirge. Allerdings finden sich in Südengland nicht nur in großer Häufigkeit die frühesten Bronzeobjekte Europas, sondern es gibt auch Spuren bronzezeitlichen Zinnbergbaus. Im Erzgebirge dagegen fehlen bisher jegliche Anzeichen prähistorischer Nutzung.

Mittlerweile gibt es Hinweise, dass Zinn aus Cornwall bereits im frühen 2. Jahrtausend v. Chr. auch in den östlichen Mittelmeerraum gelangte, so dass wir der Lösung des Rätsels um die Herkunft des Zinns einen großen Schritt nähergekommen sind. Nachdem bereits im späten 4. und dem 3. Jahrtausend in Anatolien, der Ägäis und dem Nahen Osten aus Zinn und Kupfer Bronze gefertigt worden war, verbreitete sich dieses Wissen schnell über weite Teile der Alten Welt und etablierte sich in der ersten Hälfte des 2. Jahrtausends in Europa. Das Metall diente zur Herstellung von Waffen, Schmuck und Gebrauchsgegenständen aller Art und gab deshalb zu Recht dieser Epoche ihren Namen. Ungeklärt ist jedoch, woher genau die Menschen das Zinn bekamen: Zinnvorkommen und Zinnlagerstätten sind in Europa und Asien selten und dazu noch inhomogen verteilt, was weite Wege und komplexe Handelssysteme voraussetzte. Das Zinn oder die Bronze mussten daher vor allem im Vorderen Orient, der über keine eigenen Zinnlagerstätten verfügte, zwangsläufig importiert werden. Aber woher?

Im Rahmen meines vom Europäischen Forschungsrat (ERC) geförderten Forschungsprojektes „BRONZEAGETIN“ untersuchte ich in den vergangenen Jahren mit einem Team aus Wissenschaftlern an der Universität Heidelberg und am Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie Mannheim eine Reihe spätbronzezeitliche Zinnbarren, die man auf dem Meeresboden vor der Küste von Israel und im Schiffswrack von Uluburun (Türkei) sowie auf der griechischen Insel Mochlos gefunden hat. Barren sind Handelsformen von Metallen und anderen Materialien und für die Wissenschaft von besonderem Wert, da damit Herkunftsfragen gezielt angegangen werden können. Mittels Blei- und Zinnisotopie sowie Spurenelementanalysen konnten wir zeigen, dass das Zinn tatsächlich aus europäischen Zinnlagerstätten und nicht – wie vorher allgemein angenommen – aus Zentralasien stammt. Zudem stellten wir die besten Übereinstimmungen der israelischen Fundobjekte mit dem Zinn aus dem britischen Cornwall und



INFORMATION FROM THE BRONZE AGE

# THE FORENSICS OF ARCHAEOLOGY

ERNST PERNICKA

The use of scientific methods in archaeological research is as old as the two disciplines themselves. When large-scale archaeological excavations began at Pompeii in the mid-1700s, the textual information retrieved was tested by means of chemical analysis. Systematic studies involving quantitative analyses – especially of metal objects – began in the middle of the 19th century.

Although archaeology as a whole began to be viewed as a humanist discipline after about 1900, the application of scientific methods was dramatically expanded with the introduction of atomic emission spectrometry around 1930, and especially with the development of the radiocarbon dating method circa 1950 that offered the means of establishing an absolute chronology in prehistoric archaeology. Today archaeologists routinely use scientific methods as an extension of their senses to unlock information that is contained in the material itself.

Take the investigation of the Nebra Sky Disc, since 2013 part of the UNESCO “Memory of the World” register: while it is generally considered to be a memory aid for calendrical purposes, the image on the Sky Disc combines astronomical observations with mythical explanations. Initially, its authenticity and the find location were contested, but highly sensitive analytical methods showed enrichment of copper and even gold in the soil of the site, and a new method based on radioactivity confirmed at least that the metal was not produced within the last century. The accompanying finds provided the first points of reference: swords, axe heads, chisels and spiral armbands that could be dated to around 1600 BC, a result that was later confirmed by radiocarbon dating.

Another important question concerned the provenance of the constituent metals of the disc: copper, tin and gold. Using various forms of trace element and isotope analysis, it was found that the copper derived from the eastern Alps while the tin and gold were imported from Cornwall in southwestern England. ●

PROF. DR ERNST PERNICKA held the Chair of Archaeometry, endowed by the Klaus Tschira Foundation, at Heidelberg University from 2013 until his retirement. Following his studies of chemistry and physics at the University of Vienna (Austria), he first worked in the field of archaeometry and cosmochemistry as a research assistant at the Max Planck Institute for Nuclear Physics in Heidelberg, before completing his habilitation in analytical geochemistry at Heidelberg University in 1987. In 1997 he accepted the Chair of Archaeometallurgy at TU Bergakademie Freiberg, where he established the first degree programme for archaeometry in the German-speaking world. In 2004 Ernst Pernicka took over the Chair of Archaeometry at the Institute of Prehistory and Early History of the University of Tübingen, and eventually transferred to Heidelberg University's Institute of Earth Sciences in 2013. His research project on the origins of tin in the Bronze Age ("BRONZEAGETIN") was funded by an ERC Advanced Grant of the European Research Council (ERC) to the amount of 2.3 million euros. In 2018 he became a senior professor of the University of Tübingen and senior director of the Curt Engelhorn Centre Archaeometry in Mannheim, which he has headed since its opening in 2006 and which has been home to Heidelberg University's Klaus Tschira Centre for Archaeometry since 2010. Ernst Pernicka became known to the wider public through his research on the Nebra sky disc and as an excavation leader in Troy.

Contact: Ernst.Pernicka@  
geow.uni-heidelberg.de

**“While the investigation of the Nebra sky disc was initiated and directed by archaeologists, the full meaning of this artefact was only revealed through the cooperation between the natural and cultural sciences.”**

Devon fest. Damit lässt sich die Zinnherkunft nun zum ersten Mal konkreter fassen, woraus sich viele Erkenntnisse für die archäologische Forschung ableiten können. Es zeichnet sich mit den aktuellen Ergebnissen erneut ab, dass bereits in der Bronzezeit komplexe und weitreichende Handelssysteme zwischen dem Vorderen Orient und Europa existierten. Begehrte Rohstoffe wie Zinn, Bernstein, Glas oder Kupfer waren der Motor dieses frühen internationalen Handelsgeflechts.

#### Schwierige und aufschlussreiche Goldanalyse

Doch zurück zu unseren früheren Untersuchungen an der Himmelscheibe von Nebra und dem dort neben dem Zinn verarbeiteten Gold: Dieses war schon immer ein ganz besonderes Metall – im Fall der Himmelscheibe erwies sich seine Analyse als ebenso schwierig wie aufschlussreich. Auch hier kamen außergewöhnliche Methoden zum Einsatz: Im Forschungszentrum Rossendorf erfolgte eine protoneninduzierte Röntgenanalyse (PIXE) und am Berliner Elektronensynchrotron (BESSY) eine Röntgenfluoreszenzanalyse angeregt durch Synchrotronstrahlung. Die Ergebnisse waren überraschend: Das Gold, aus dem die verschiedenen Himmelsobjekte gefertigt waren, wies keine einheitliche Zusammensetzung auf.

Zunächst einmal zeigte sich, dass das große runde Objekt (Sonne oder Mond), die Mondsichel und die Sterne aus demselben silberreichen Gold bestanden. Zudem fiel es durch einen relativ hohen Kupfer- und Zinnanteil auf. Ein einziger Stern war anders, und zwar jener, der dem dort später angebrachten (aber mittlerweile verlorenen) Horizontbogen im Wege gewesen wäre und deshalb nach innen versetzt worden war. Tatsächlich wies er dieselbe etwas zinnreichere Goldsignatur auf wie der erhaltene Horizontbogen am rechten Rand der Scheibe. Das bestätigte eindrucksvoll die These, dass die Horizontbögen zu einem späteren Zeitpunkt auf der Himmelscheibe befestigt worden waren. Dagegen unterscheidet sich die Sonnenbarke hinsichtlich des Goldes am deutlichsten vom Rest – sie besaß lediglich einen Silberanteil von rund 14 Prozent. Weil es sich bei dem Schiff um eine eher mythische denn eine astronomische Zugabe handelte, könnte sie zu einer anderen Zeit oder vielleicht auch von einem anderen Personenkreis auf die Scheibe gebracht worden sein.

#### Veränderung in mehreren Arbeitsgängen

Damit untermauerte die Goldanalyse eindrucklich die Vermutung der Archäologen, dass das Bild der Himmelscheibe in mehreren, zeitlich deutlich voneinander getrennten Arbeitsgängen verändert worden war. Auch das ist übrigens ein schlagendes Argument für die Echtheit der Scheibe. Bezüglich der Herkunft des Goldes geriet anfangs Siebenbürgen im heutigen Rumänien in den Blick, wo es im sogenannten Goldenen Viereck ähnlich silberreiches Gold gibt. Aber die relativ hohen Gehalte an Zinn und den so genannten Platinmetallen, die eigentlich

nicht mit Gold zusammen in der Natur vorkommen, passten nicht zu dieser Region. Nach einigen Jahren vergeblicher Suche nach einem Gold mit passendem Spurenelementmuster wurde man ausgerechnet wieder in Cornwall fündig. Dort gibt es komplexe geologische Verhältnisse, die bei der Verwitterung so verschiedene resistente Minerale wie Gold, Zinnstein und Platinmetalle in Flüssen zusammenbringen und die Zusammensetzung des daraus gewonnenen Goldes bestimmen.

Die Himmelscheibe von Nebra ist in vielerlei Hinsicht ein europäischer Schlüsselfund: Sie hat uns eindrucksvolle Einsichten in die Gedankenwelt der bronzezeitlichen Menschen in Mitteleuropa und ihre Sichtweisen über Mensch, Wirtschaft, Gesellschaft und Religion vermittelt. Die Untersuchung dieses außergewöhnlichen Fundes und seines kulturgeschichtlichen Umfeldes war zwar archäologisch motiviert und geleitet – aber erst die exemplarische Zusammenarbeit verschiedener Fächer der Natur- und Kulturwissenschaften ergab ein stimmiges Bild. Und genau dieses Zusammenwirken bringt uns auch der Lösung des Rätsels um die Herkunft des bronzezeitlichen Zinns und damit wertvollen Erkenntnissen für die archäologische Forschung Schritt für Schritt näher. ●

„Bei der Himmelscheibe von Nebra hat sich die Archäometrie nicht nur als Kriminaltechnik der Archäologie, sondern auch des Gerichtes bewährt.“

**DIE WILDNIS**

**IN**

**UND ZWISCHEN UNS**

DIE WILDNIS IN UND ZWISCHEN UNS

# INZEST IN DER LITERATUR DES MITTELALTERS

SARINA TSCHACHTLI

**Inzest ist im Mittelalter nicht nur Gegenstand theologischer Traktate und kirchlicher Gesetze, sondern auch von Chroniken, Heiligenviten und höfischen Romanen. Beispielhaft für das Erzählen über Inzest in der mittelalterlichen Literatur ist die Albanuslegende: Die inzestuöse Königsfamilie, der der Heilige Albanus entstammt, figuriert einen Einfall der Natur in die Kultur – die Erzählung zieht damit auch eine Grenze zwischen Natur- und Kulturraum.**

# E

Eine kleine Familie zieht durch die Wildnis: ein König, seine Tochter und ihr gemeinsamer, bereits erwachsener Sohn. Seit sieben Jahren sind sie auf Wanderschaft, um für den begangenen Inzest zu büßen. Kurz vor ihrer Rückkehr bereitet der Sohn den Eltern ein Nachtlager unter einem Baum, er selbst will auf dem Baum schlafen. Als er sieht, dass die Eltern nicht in den Schlaf, sondern wieder in Sünde zueinanderfinden, steigt er vom Baum und erschlägt beide.

Die oben geschilderte Szene ist typisch für das mittelalterliche Erzählen von Inzest, zu dem ich im Rahmen meines Habilitationsprojektes forsche. Die Albanuslegende, der die Szene entnommen ist, soll hier beispielhaft für dieses Erzählen stehen. Während theologische Traktate und kirchliche Gesetze zum Inzest einen Machtkampf der Kirche gegen dynastische Heiratspolitik dokumentieren, erzählen Chroniken, Heiligenviten und höfische Romane in eigener

Weise vom Inzest. Gemeinsam ist diesen so verschiedenen Texten, dass sie Grenzen des Legitimen ausweisen. In den Erzähltexten wiederum werden diese Grenzen so selbstverständlich vorausgesetzt wie sie überschritten werden. Im Waldlager schlägt die eigentlich legitime emotionale Nähe innerhalb der Familie unvermittelt in illegitime Geschlechtlichkeit um. Ebenso unvermittelt erschlägt der Sohn seine Eltern. Der Inzest – das verdeutlicht die Szene unter dem Baum – ist zugleich naheliegend und in drastischer Weise zu strafen.

Inzest gilt als kulturübergreifendes, ja sogar kulturbegründendes Tabu: Nach dem Ethnologen Claude Lévi-Strauss vollzieht sich im Inzesttabu der Schritt von der Natur zur Kultur. Auch mittelalterliche Texte verhandeln anhand des Inzestes kulturelle Grenzziehungen. Doch während das Kirchenrecht immer schärfere Eheverbote formuliert, interessieren sich mittelalterliche Erzähltexte erstaunlich wenig für Fragen des Verbots. Vielmehr erscheint der Inzest zugleich als schwerste Sünde und als naheliegende Partnerwahl.

#### **Wildnis in und zwischen uns**

Der Inzest des Königs mit seiner Tochter ist dabei immer mehr als ein Vergehen. In der genealogisch strukturierten Gesellschaft des höfischen Mittelalters bedeutet Inzest eine Störung nicht nur der familiären, sondern auch der kulturellen Ordnung. Die beschriebene Szene spielt sich also nicht zufällig in der Wildnis ab. Die gemeinsame Wanderschaft als Buße für den Inzest wurde vom Bischof verordnet und bedeutet einen vorübergehenden Ausschluss aus dem Raum der christlich-dynastischen Kultur. In der Wildnis, dem Gegenraum zur Gesellschaft, soll die Familie wieder in diese integrierbar werden. Doch ist es gerade die Intimität des Waldlagers, in welcher Vater und Tochter sich wieder zu nahe kommen. Im Inzest wird die genealogische Ordnung durch die schwer kontrollierbaren Kräfte der Sexualität gestört. Die inzestuöse Königsfamilie figuriert so einen Einfall der Natur in die Kultur.

Die Erzählung zieht damit eine Grenze zwischen Natur- und Kulturraum ein. Das scheint das Skandalon des

**„In der genealogisch strukturierten Gesellschaft des höfischen Mittelalters bedeutet Inzest eine Störung nicht nur der familiären, sondern auch der kulturellen Ordnung.“**

# „In mittelalterlichen Erzähltexten erscheint der Inzest zugleich als schwerste Sünde und als naheliegende Partnerwahl.“

Inzests zu entschärfen, weil es den Inzest außerhalb der Gesellschaft verortet. Doch das negative Handlungspotenzial ist in den Figuren und Figurenkonstellationen selbst angelegt – in der familiären Nähe, die sich ins Unsittliche steigern kann. Eben das hat schon der erste Inzest verdeutlicht, der sich am Hof und damit im Zentrum höfischer Kultur ereignet hat. Der erzählte Naturraum, in dem sich der zweite Inzest ereignet, ist gerade nicht ein äußerer Raum, sondern stellt Veräußerungen von etwas Innerem dar: der Wildnis in und zwischen uns.

## Inzest als Diskursscharnier

Inzest und Tötung lassen nicht vermuten, dass es sich bei der Erzählung um eine Heiligenlegende handelt. Doch es ist Albanus, der hier seine Eltern in heiliger Wut erschlägt. Diese Legende liegt in verschiedenen lateinischen und deutschen Bearbeitungen des Mittelalters vor. Die Verbindung von Inzest und Heiligkeit ist aus heutiger Perspektive erstaunlich, doch die vormoderne Legendarik beschreibt nicht nur Vorbilder in Beständigkeit und Martyrium, sie durchschreitet auch die menschlichen Abgründe der Sünde. Für die Inzestheiligen – neben Albanus gehört auch Gregorius dazu – ist der Inzest zugleich Moment der Abscheu und Beweggrund der Erhöhung.

Der Inzest als Motiv, das gilt nicht nur für Legenden, verbindet die genealogischen Wirren von Herrscherfamilien mit der Inzestsünde als denkbar schwerster Herausforderung an das Seelenheil. Die Texte betonen mal die politische, mal die religiöse Dimension stärker, doch der Inzest funktioniert dabei immer als Scharnier zwischen den Diskursen. Der Inzest stört immer Herrschafts- und Heilsordnung. Er bedeutet einen doppelten Tiefpunkt, aus dem ein Weg



**PROF. DR. SARINA TSCHACHTLI** ist seit 2019 Juniorprofessorin für Germanistische Mediävistik an der Universität Heidelberg und leitet das Teilprojekt „Briefe als materielle Kommunikation in der Literatur des 12. bis 17. Jahrhunderts“ am Sonderforschungsbereich 933 „Materiale Textkulturen“. Vor ihrem Wechsel nach Heidelberg war sie an der Universität Zürich (Schweiz) tätig, wo sie mit einer Arbeit zu Andreas Gryphius' Dramen promoviert wurde. Ein Stipendium zu ihrem Habilitationsprojekt „Inzest. Gefährliche Nähe in der Literatur des Mittelalters und der frühen Neuzeit“ führte sie zudem an die Universitäten Wien (Österreich) und Konstanz.

Kontakt: [sarina.tschachtli@gs.uni-heidelberg.de](mailto:sarina.tschachtli@gs.uni-heidelberg.de)

gefunden werden muss – aus der dynastischen Enge des Familienverbundes und der sittlichen Schwäche der Einzelnen.

## Verwandtschaftliche Verstrickungen

Die mittelalterlichen Texte erzählen den Inzest als momenthaften Einfall des Ungeheuerlichen, doch verstetigt sich die Sünde in der Zeugung eines Kindes. Das ermöglicht den mittelalterlichen Erzähltexten, die Inzestwirren noch zu steigern. Bei Albanus wird das an der Handlung deutlich, die der oben beschriebenen Szene unter dem Baum vorausgeht. Das von Vater und Tochter gezeugte Kind wird ausgesetzt, kommt aber an einen anderen Hof und wird als Königssohn erzogen und Albanus genannt. Als Albanus selbst König wird, heiratet er – ohne das zu wissen – seine Mutter. Die Albanuslegende, wie auch andere mittelalterliche Inzest-erzählungen, greift hier auf den Ödipusstoff zurück, findet aber eine ganz eigene Ausprägung, indem es zu mehreren Inzesthandlungen auf verschiedenen Ebenen kommt – zunächst zwischen Vater und Tochter und dann noch einmal zwischen dem daraus entstandenen Kind und dessen Mutter, die zugleich dessen Schwester ist. Der im Ödipusstoff unwissende, dementsprechend schicksalhafte Inzest führt zur Selbstentdeckung. Bei Albanus treibt die Ehe mit der Mutter den bereits geschehenen wissentlichen Inzest der Eltern auf die Spitze und führt nicht nur zur Entdeckung des eigenen unwissentlichen Inzestes, sondern auch der eigenen Herkunft aus dem Inzest.

Auf diesem Entdeckungsmoment liegt der gestalterische Fokus der Albanuslegenden – alle anderen Handlungszusammenhänge sind stark gerafft erzählt. Das gilt für die lateinischen Vorlagen wie für die deutschen Bearbeitungen.

Nach der Heirat erfährt die Mutter von Albanus' Herkunft und realisiert, dass er ihr Sohn ist. In den gegenseitigen Erklärungen und Schreckensbekundungen wird die komplexe Familienkonstellation mehrfach betont, was an der Frauenfigur besonders deutlich wird: Die Ehefrau ist zugleich Schwester und Mutter. Der Text zieht erzählerische Drastik aus der Komplexität dieser Familienkonstellation, wendet diese jeweils in einen Schrecken über die eigene Sündhaftigkeit. Zugleich inszeniert die Entdeckung eine Vervielfachung der familiären Nähe und Intimität. Sie liebe Albanus nicht nur als Mann, gesteht Albanus' Frau, sondern auch als Bruder und Sohn. Die genealogischen Wirren sind zugleich Skandalon und Faszinosum.

#### **Mutterkomplex**

Dass sich in der Legende der Inzest in einer zweiten Konstellation wiederholt, ist nicht nur eine weitere Verstrickung in Verwandtschaft und Sünde. Es bedeutet auch, dass die Frau, die zugleich Mutter, Schwester und Ehefrau ist, stärker in den Fokus gerät. Sie ist in beide Inzestkonstellationen involviert. Sigmund Freuds Ödipuskomplex, der das kulturelle Verständnis von Inzest so nachhaltig geprägt hat, rückt die Vater-Sohn-Konstellation ins Zentrum des Interesses. Der unwissentliche Vatermord wird bei Freud zum gewaltsamen Generationenwechsel und zur Selbstartikulation des Sohnes gegenüber der Vaterposition. Doch die mittelalterlichen Umgestaltungen des Stoffes, die die

Mutter-Sohn-Relation zentral setzen, machen deutlich, dass im mythischen Stoff mehr als ein Vaterkomplex angelegt ist.

Die wissentliche Tötung der Eltern ist für die Albanuslegende ein Spezifikum. Die meisten vormodernen Inzesttexte finden für die inzestuösen Eltern Möglichkeiten der Vergebung. Dass Albanus seine Eltern tötet, ist hingegen als gezielte Auslöschung seiner eigenen Herkunft lesbar. Er beendet den Inzest, dessen Produkt er selbst ist. Die heimliche Sünde wird dabei zum zweiten Mal durch Albanus sichtbar gemacht. Zuvor bezeugt das Kind den Inzest, dann wird es selbst sein Zeuge. Doch so außergewöhnlich Albanus' Verstrickung in die Schuld seiner Familie erscheint, sie ist – als Geburt in eine sündige Welt und in familiäre Bindungen – auch eine existenzielle Grundbedingung. Das Erzählen vom Inzest wird in der mittelalterlichen Legendarik also auch eine Auseinandersetzung mit der Sünde, die einem schon in die Wiege gelegt ist: Die Erbsünde.

#### **Wege aus der Sünde**

Die Drastik, mit der sich Albanus gegen seine eigene Herkunft wendet, führt tiefer in die Sünde, doch ist die Negation der eigenen, vorbelasteten Herkunft auch Voraussetzung für einen Weg aus der familiären Sündenfalle. Die Tötung der Eltern ist nach weiteren sieben Jahren Wanderschaft

**„Der Inzest führt zum Ausschluss aus der Gesellschaft, und dementsprechend erstrecken sich Inzesterzählungen oft über verschiedene Kulturräume.“**



**„Die inzestuöse  
Königsfamilie figuriert  
einen Einfall der  
Natur in die Kultur.“**

# „Das Erzählen vom Inzest wird in der mittelalterlichen Legendarik auch eine Auseinandersetzung mit der Sünde, die einem schon in die Wiege gelegt ist: Die Erbsünde.“

## Sonderforschungsbereich „Materiale Textkulturen“

Der Sonderforschungsbereich „Materiale Textkulturen. Materialität und Präsenz des Geschriebenen in non-typographischen Gesellschaften“ (SFB 933) analysiert schrifttragende Artefakte aus Gesellschaften, in denen es keine Verfahren der massenhaften Produktion von Geschriebenem gab. Hierzu gehören beispielsweise religiöse Texte auf Rezitationsrollen im Alten Ägypten, in Keilschrift beschriebene Tontafeln aus Mesopotamien oder Schriftzeichen an mittelalterlichen Bauwerken. Ziel ist es, neue interpretatorische Zugänge zu antiken und mittelalterlichen Texten zu entwickeln.

Die Schriftstücke werden vor allem auf ihre materiale Präsenz in einem bestimmten Raum- und Handlungszusammenhang hin untersucht: Wo war Geschriebenes in welcher Form vorhanden und wer hatte Zugang dazu? Wie wurde an, mit oder infolge des Geschriebenen gehandelt und inwieweit waren die Praktiken der Rezeption durch die „Materialität“ und „Präsenz“ der schrifttragenden Artefakte beeinflusst? Mit der Beantwortung dieser Fragen wollen die Wissenschaftler des SFB die Bedeutungen entschlüsseln, die zeitgenössische Rezipienten dem Geschriebenen in vergangenen „non-typographischen“ Gesellschaften beigegeben haben.

Der Sonderforschungsbereich wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft seit 2011 gefördert, im Mai 2019 wurde eine dritte Förderperiode bis 2023 in Höhe von rund 11,7 Millionen Euro bewilligt. Sprecher ist der Mediävist Prof. Dr. Ludger Lieb vom Germanistischen Seminar der Universität Heidelberg. An dem Verbund sind zurzeit rund 70 Forscherinnen und Forscher aus 18 geisteswissenschaftlichen Disziplinen der Universität Heidelberg und der Hochschule für Jüdische Studien Heidelberg beteiligt.

[www.materiale-textkulturen.de](http://www.materiale-textkulturen.de)

gebüßt und der Weg zu Albanus' Heiligung geebnet. Es ist letztlich nicht der Vollzug des Inzests, der die Erzählungen nachhaltig beschäftigt, sondern der weite Weg aus diesen Fallstricken der Familie, der sich auch in der Weite der erzählten Welt zeigt. Der Inzest führt zum Ausschluss aus der Gesellschaft, und dementsprechend erstrecken sich Inzesterzählungen oft über verschiedene Kulturräume. Nicht nur wird das Kind der inzestuösen Verbindung ausgesetzt und anderenorts erzogen, auch die reuigen Sünder suchen nach der Einsicht in die eigene Sündigkeit in Bußbemühungen die Weite der Welt. Der Inzest wird so zum wortwörtlichen Beweggrund der Erzählung, und die Sünde wird zum Ausgangspunkt des Heils. ●

THE WILDERNESS IN AND BETWEEN US

# INCEST IN MEDIEVAL LITERATURE

SARINA TSCHACHTLI

Incest is considered taboo across cultures. According to Claude Lévi-Strauss, the incest taboo even represents a society's evolution from nature to culture. Yet medieval stories of incest show little concern for questions of prohibition. Rather, the moral limits are considered self-evident, but are still easily transgressed. In medieval narratives, incest marks the genealogical crisis of a ruling family as well as a collective lapse into depravity. Since medieval courtly society is genealogically structured, incest not only represents the disturbance of a religious regime, but also of a cultural order.

Using the legendary story of Albanus as an example, we can see how incest narratives intricately intertwine political and religious discourses. Albanus, who is born of a king and his daughter, is abandoned as a child, but eventually finds himself married to his own mother and sister. This is where the stories draw on the Oedipal narrative, but the repetition of the incest – with the protagonist being both a child of incest and committing incest himself – is specific to medieval versions of the theme. Whereas Oedipus eventually discovers that he has killed his own father and slept with his mother, Albanus not only discovers his marriage to be incestuous, but also his own sinful origin – another turn of the incestuous screw, so to speak. The stories of Albanus emphasise this moment of discovery when the protagonist realises his own genealogical entanglement.

The complex family constellation offers both a sense of scandal and fascination. The discovery of incest also leads to the sinners being excluded from society, as they start to wander the world to do penance. Thus, incest becomes a literal motivator for the story, and sin becomes the starting point of salvation. ●

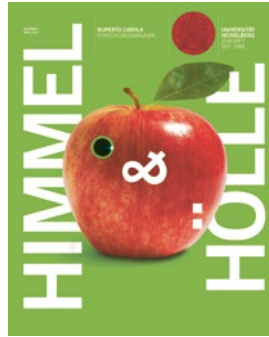
**“The incestuous royal  
family represents  
the incursion of nature  
into culture.”**

PROF. DR SARINA TSCHACHTLI joined Heidelberg University in 2019 as a junior professor of German medieval studies and heads the subproject “Letters as Material Communication in the Literature of the 12th to 17th Century” of Collaborative Research Centre 933 “Material Text Cultures”. Before coming to Heidelberg, she worked at the University of Zurich (Switzerland), where she earned her PhD with a thesis on the dramatic work of Andreas Gryphius. A grant related to her habilitation project “Incest. Dangerous proximity in medieval and early modern literature” led her to the universities of Vienna (Austria) and Constance.

Contact: sarina.tschachtli@gs.uni-heidelberg.de



ALT & JUNG  
AUSGABE 1  
OKTOBER 2012



HIMMEL & HÖLLE  
AUSGABE 2  
APRIL 2013



ORDNUNG & CHAOS  
AUSGABE 3  
NOVEMBER 2013



KRIEG & FRIEDEN  
AUSGABE 4  
MAI 2014



DRAUSSEN & DRINNEN  
AUSGABE 5  
NOVEMBER 2014



GESUND & KRANK  
AUSGABE 6  
JUNI 2015



SCHATTEN & LICHT  
AUSGABE 7  
DEZEMBER 2015



NORD & SÜD  
AUSGABE 8  
JULI 2016



STOP & GO  
AUSGABE 9  
DEZEMBER 2016



FRAU & MANN  
AUSGABE 10  
JULI 2017



SCHEIN & SEIN  
AUSGABE 11  
DEZEMBER 2017



STADT & LAND  
AUSGABE 12  
JUNI 2018



HEISS & KALT  
AUSGABE 13  
DEZEMBER 2018



ABSOLUT & RELATIV  
AUSGABE 14  
JUNI 2019



KULTUR & NATUR  
AUSGABE 15  
DEZEMBER 2019