

AUSGABE 20
JULI 2022

RUPERTO CAROLA
FORSCHUNGSMAGAZIN



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

WEIßRAUCH

LIEBE LESERINNEN UND LESER DER RUPERTO CAROLA,

mit dem Anspruch, die Spitzenforschung an der Universität Heidelberg, ihre Forscherinnen und Forscher und die besonderen Stärken der Comprehensive University einer lokalen, nationalen und internationalen Leserschaft nahezu bringen, sind wir vor zehn Jahren mit der neu konzipierten RUPERTO CAROLA gestartet. Heute liegt mit WEICH & HART die 20. Ausgabe vor Ihnen, und ich kann mit Stolz sagen, dass die Universität Heidelberg mit ihrem Forschungsmagazin Maßstäbe in der Wissenschaftskommunikation gesetzt hat. Vielfach mit nationalen und internationalen Preisen ausgezeichnet für die Verbindung gesellschaftlich relevanter Forschungsthemen mit herausragendem Layout, macht es einfach Freude, das Magazin aufzuschlagen und über Fächer und Disziplinen hinweg einen Einblick in die große Bandbreite der Forschung an unserer Volluniversität zu gewinnen. Mein Dank gilt allen Beteiligten, insbesondere den Autorinnen und Autoren, der Redaktion und dem Wissenschaftlichen Beirat der RUPERTO CAROLA.

Die aktuelle Jubiläumsausgabe zum Schwerpunktthema WEICH & HART spannt einen Bogen von der Malariaforschung, die in Heidelberg eine lange erfolgreiche Geschichte hat, bis zu den Forschungen an unserer neu gegründeten Fakultät für Ingenieurwissenschaften. In den Beiträgen geht es um Persönlichkeitsentwicklung im Erwachsenenalter, um die Akzeptanz von Kompromissen in der Politik und um den doppelten Charakter literarischer Erfahrung, um neue Biomaterialien für die Gelenkregeneration und um die gegenseitigen Abhängigkeiten im Spannungsfeld von Hard- und Software.

Ich wünsche Ihnen eine ertragreiche Lektüre unserer Jubiläumsausgabe und freue mich mit Ihnen auf weitere spannende Perspektiven aus der Forschung an der Universität Heidelberg!



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



KAPITEL

EXPERTEN IM GESPRÄCH
HARTE ZAHLEN – WEICHE SKILLS
DEFEKTE UND DIE STABILITÄT VON SYSTEMEN
IM GESPRÄCH MIT NINA JUDE & RÜDIGER KLINGELER

6

MATERIALS SCIENCE
INSPIRED BY NATURE
PRINTING REVOLUTION
EVA BLASCO

16

EXPERIMENTELLE ORTHOPÄDIE
VERKNÖCHERT?
NEUE BIOMATERIALIEN FÜR STABILE GELENKE
WILTRUD RICHTER

24

EARTH SCIENCES
IT TAKES TWO TO TANGO
FLUID-ROCK INTERACTIONS IN THE EARTH'S INTERIOR
LUCIE TAJČMANOVÁ

32

KAPITEL

POLITIKWISSENSCHAFT
HERZSTÜCK
KOMPROMISSE IN DER POLITIK
ALEJANDRO ECKER

42

VÖLKERRECHT
SOFT LAW
BINDUNG OHNE FESSELN?
FRUZSINA MOLNÁR-GÁBOR

52

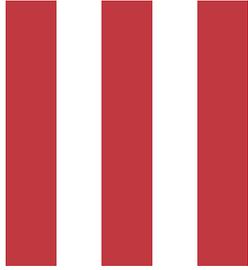
POLITISCHE ÖKOLOGIE
DIE DRITTE DIMENSION
SUCHE NACH DEM HARTEN KERN DER NACHHALTIGKEIT
ROSA LEHMANN

60

WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFT
REICHER ALS GEDACHT
INDIVIDUELLE EINSCHÄTZUNGEN UND GLOBALE KONSEQUENZEN
DIETMAR FEHR

70

KAPITEL



ENTWICKLUNGSPHYSIOLOGIE
DOPPELGESICHT
HARTE SCHALE, WEICHER KERN
THOMAS GREB

80

LITERATURWISSENSCHAFT
MORALISCHE LANDKARTEN
LITERATUR IM WECHSEL DER BEWERTUNGSHORIZONTE
GÜNTER LEYPOLDT

88

ARCHITEKTURGESCHICHTE
GRENZFRAGEN
STADTARCHITEKTUR ALS PROZESS
BRIGITTE SÖLCH

96

PSYCHOLOGIE
IN STEIN GEMEISSELT?
PERSÖNLICHKEITSENTWICKLUNG IM ERWACHSENENALTER
CORNELIA WRZUS

104

IMPRESSUM

113

KAPITEL



EXPERIMENTALPHYSIK
SCHATTENRISSE
VON HARTEM UND WEICHEM LICHT
WOLFRAM PERNICE

116

INFEKTILOGIE
MANCHE MÖGEN'S HART
DIE MOLEKULARE ACHILLESFERSE DES MALARIAERREGERS
FRIEDRICH FRISCHKNECHT & CARMEN RUIZ DE ALMODÓVAR

124

TECHNISCHE INFORMATIK
DER ZUKUNFT VORAUS
IM SPANNUNGSFELD VON HARD- UND SOFTWARE
HOLGER FRÖNING

132

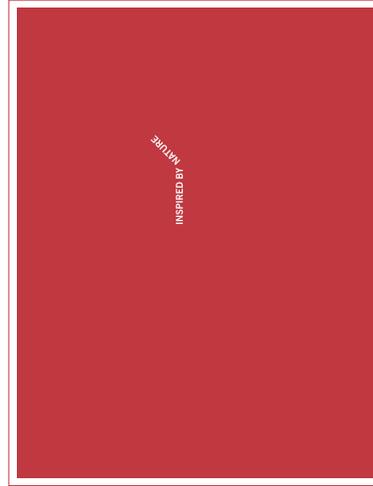
HERZ-KREISLAUF-FORSCHUNG
FRESSEN UND GEFRESSEN WERDEN
NÜTZLICHE KANNIBALEN
KAI-UWE JARR

142



EXPERTEN IM GESPRÄCH
HARTE ZAHLEN – WEICHE SKILLS
DEFEKTE UND DIE STABILITÄT VON SYSTEMEN
IM GESPRÄCH MIT NINA JUDE & RÜDIGER KLINGELER

6



MATERIALS SCIENCE
INSPIRED BY NATURE
PRINTING REVOLUTION
EVA BLASCO

16



EXPERIMENTELLE ORTHOPÄDIE
VERKNÖCHERT?
NEUE BIOMATERIALIEN FÜR STABILE GELENKE
WILTRUD RICHTER

24



EARTH SCIENCES
IT TAKES TWO TO TANGO
FLUID-ROCK INTERACTIONS IN THE EARTH'S INTERIOR
LUCIE TAJČMANOVÁ

32

KAPITEL



HARTE

ZAHLEN

WEICHE

SKILLS

HARTE ZAHLEN – WEICHE SKILLS

DEFEKTE UND DIE STABILITÄT VON SYSTEMEN

IM GESPRÄCH MIT NINA JUDE & RÜDIGER KLINGELER

Die Bildungswissenschaftlerin Nina Jude und der Festkörperphysiker Rüdiger Klingeler sprechen über harte Fakten in weichen Forschungsfeldern, über Defekte, die die Stabilität eines Materials erhöhen, und über die Frage, welche Soft Skills und Hard Skills im Studium wirklich nötig sind und was Schulbildung in dieser Hinsicht leisten sollte.

W

Was kommt Ihnen spontan zum Begriffspaar „weich & hart“ in den Sinn?

Prof. Klingeler: Härte ist zunächst einmal ein Alltagsbegriff, den wir auch in der Physik für eine Materialeigenschaft verwenden. Als physikalische Größe beschreibt Härte den mechanischen Widerstand eines Körpers gegen das Eindringen eines anderen Körpers. Dies ist allerdings keine besonders „harte“ Definition, da die so festgelegte Härte je nach verwendetem Messverfahren unterschiedlich ist. Harte Materialien sind für viele Anwendungen wünschenswert, ein Beispiel sind harte Brillengläser, die weniger kratzempfindlich sind. Solche Materialien werden im Forschungsgebiet der kondensierten Materie untersucht. Dort gibt es die Gebiete der „harten“ und der „weichen“ kondensierten Materie. Letztere beschreibt Materialien wie beispielsweise Polymere, Gele oder biologisches Gewebe, die sich weder eindeutig als flüssig noch als fest charakterisieren

„Als physikalische Größe beschreibt Härte den mechanischen Widerstand eines Körpers gegen das Eindringen eines anderen Körpers.“



Rüdiger Klingeler

lassen und die wir auch umgangssprachlich als weich bezeichnen würden.

Trotz vieler Gemeinsamkeiten unterscheiden sich weiche und harte kondensierte Materie fundamental. Mit Pierre-Gilles de Gennes, der 1991 als Mitbegründer des Forschungsfelds „Soft Matter“ den Nobelpreis erhielt, lässt sich weiche Materie als „komplex und flexibel“ charakterisieren. Komplexität kann hier so verstanden werden, dass qualitativ neue Effekte auftreten. Daher ist Soft Matter „anders komplex“ als harte kondensierte Materie, in der Atome normalerweise ein geordnetes Kristallgitter bilden. In harter Materie sind infolgedessen auch Quantenphänomene von großer Bedeutung, die ich in meiner Forschung an Quantenmaterialien untersuche.

Prof. Jude: Wenn ich allgemein über weich und hart nachdenke, denke ich als Psychologin zunächst an Wahrnehmung: Was nehmen wir als weich oder hart wahr – und warum nehmen wir es so wahr? Aber was bedeuten die beiden Begriffe in Bezug auf Bildung? Wir haben ein Bild von Bildung im Kopf, weil wir alle damit zu tun hatten oder noch haben, aber fragt man, was gute Bildung ausmacht, dann werden sehr unterschiedliche Kriterien genannt und wir sind in einem sehr weiten, gewissermaßen weichen Feld. Wie können wir empirisch feststellen, was tatsächlich bessere oder wirksamere Bildung ist? Natürlich haben wir Indikatoren für guten Unterricht, die wir schon lange empirisch in Studien anwenden. Und wir haben Kriterien dafür, welche Qualität am Ende des schulischen Bildungsprozesses erreicht sein sollte, welche Kompetenzen für den Einstieg in Beruf oder Studium nötig sind. Sind das nun harte, fachliche Kompetenzen oder eher weiche, persönliche Kompetenzen – sogenannte Soft Skills? Auch das ist ein sehr weites Feld. Wir könnten somit Bildung als etwas sehr Weiches bezeichnen, für das wir messbare, also harte Kriterien abzuleiten versuchen, um vergleichen zu können – in internationalen Bildungsstudien stehen am Ende zum Beispiel Messgrößen in Form von „harten“ Zahlen.

Können die Begriffe „hart“ und „weich“ gewissermaßen fluide sein?

Prof. Klingeler: Härte ist wie eingangs beschrieben eine Größe, die vergleichend definiert und damit „relativ“ ist. Interessant ist aber auch die Verwendung der Begriffe „hart“ und „weich“ für die Wissenschaft, mit der beispielsweise der Formalisierungsgrad von Fragestellungen oder die Methodik eingeordnet wird und bei der die Naturwissenschaften als harte Wissenschaften gelten. Natürlich gibt es harte nachprüfbare naturwissenschaftliche Fakten – wenn ich beispielsweise einen Stift loslasse, dann wird er immer herunterfallen. Trotzdem staune ich manchmal, wie sehr man unseren naturwissenschaftlichen Messergebnissen glaubt, ohne dass Fehlerbereiche oder die zugrunde

liegenden Annahmen und Interpretationen berücksichtigt werden. Insofern scheint es mir nicht unbedingt gerechtfertigt, jedes physikalische Messergebnis als „härter“ anzusehen als einen Zahlenwert bei der Kompetenzmessung in Bildungstests.

Wie lassen sich in Bildungstests weiche Aspekte mit harten Indikatoren messen?

Prof. Jude: Es kommt darauf an, was ich messen möchte. Bei der Mathematikkompetenz möchte ich wissen, was Schüler:innen am Ende einer Jahrgangsstufe können – dafür haben wir Bildungsstandards, die etwa festlegen, dass Schüler:innen Gleichungen mit einer oder zwei Unbekannten auflösen können sollten. Das sind relativ harte Kriterien, die ich abfragen kann. Schwieriger ist es mit Aspekten wie der Problemlösekompetenz: Da müssen wir zunächst definieren, was das überhaupt ist, wie es sich beschreiben lässt und was die Schüler:innen machen müssen: Müssen sie das Problem erst einmal definieren, müssen sie es alleine lösen oder in einer Gruppe? Ich versuche also, die für diese Kompetenz theoretisch nötigen Anforderungen in möglichst viele kleine Schritte aufzugliedern und diese dann mit konkreten Testaufgaben zu versehen.

Beispielsweise wurde bei der PISA-Studie 2015 die Problemlösekompetenz am Computer untersucht. In einer Aufgabe sollten die Schüler:innen gemeinsam eine Klassenfahrt vorbereiten. Dafür müssen sie sich abstimmen, wohin es gehen soll, was Social Skills erfordert; sie müssen überlegen, was sie als Erstes machen oder wie viel Geld es kostet. Wenn alle Testaufgaben beantwortet sind, besagt am Ende ein Zahlenwert, wer die Aufgabe gut oder weniger gut gelöst hat – je nachdem, ob alle oder möglichst viele dieser Schritte bewältigt wurden. Wichtig ist immer die theoretische Annahme dessen, was die Kompetenz ausmacht, was also eine Person kann, die definierte Probleme besser lösen kann als eine andere Person. Im Idealfall sollte diese Person ihre Problemlösekompetenz auch in anderen Zusammenhängen anwenden können.

Prof. Klingeler: Hier zeigen sich auch methodische Parallelen zwischen unseren Forschungsgebieten: Auch als Physiker bestimme ich zunächst die Messgröße, die ich untersuchen möchte – beispielsweise die Wärmekapazität des Wassers in einem Glas. Ich muss dann entscheiden, welche Messung ich zur Bestimmung vornehmen muss und wie ich diese umsetze – am Ende erfolgt dann die Interpretation des Ergebnisses. Wichtig sind auch hier die theoretischen Grundannahmen, und es stellt sich immer die Frage, wie belastbar die Daten sind und ob ich von meiner Beobachtung aus den Schritt zur allgemeinen Aussage machen kann – ist das bei Ihnen auch so?

Prof. Jude: Das ist durchaus vergleichbar: Worauf können wir am Ende tatsächlich schließen? Ist es wirklich die

„Man kann Bildung als etwas sehr Weiches bezeichnen, für das wir messbare, also harte Kriterien abzuleiten versuchen, um vergleichen zu können.“



Nina Jude



PROF. DR. NINA JUDE hat seit Oktober 2020 am Institut für Bildungswissenschaft der Universität Heidelberg eine Professur mit dem Schwerpunkt Nationale und Internationale Bildungsstudien inne. Vor ihrem Wechsel nach Heidelberg war sie nach Studium und Promotion in Psychologie wissenschaftliche Projektleiterin am DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation in Frankfurt am Main, wo sie die Entwicklung der Kontextfragebögen für die PISA-Studie koordinierte. Nina Judes Forschungsschwerpunkt liegt auf der Erfassung von Kontextfaktoren von Bildung und Qualitätsindikatoren auf den verschiedenen Ebenen des Bildungssystems. Aktuell beschäftigt sie sich unter anderem mit den Herausforderungen und Strategien von Schulen im Umgang mit den Folgen der Corona-Pandemie sowie mit methodischen Ansätzen zur Vorhersage von Entwicklungen in Bildungssystemen bezogen auf die UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung.

Kontakt: jude@
ibw.uni-heidelberg.de

„Wichtig ist, dass Schüler:innen lernen, zu reflektieren, was sie bereits können und was nicht, anstatt ihnen nur vorzugeben, was sie bis zur nächsten Klausur lernen müssen.“

Nina Jude

Kompetenz, die Aufgabe zu lösen, oder schließen wir am Ende auf ein latentes Merkmal, das sich nicht direkt beobachten und messen lässt? Woran merke ich, dass wir auf einmal etwas anderes messen, weil andere Einflussfaktoren reinspielen? Ein Beispiel: Wenn ich Mathematikkompetenz erfassen möchte und eine lange Textaufgabe mit vielen Fragen habe, muss ich berücksichtigen, dass die Leistung von der Lesekompetenz beeinflusst sein kann. Die Kunst bei unseren Messungen liegt darin, Aufgaben zu konstruieren, die etwa Mathematikkompetenz trennen von Lesekompetenz oder der Kompetenz, am Computer arbeiten zu können.

Sie haben die als Hard Skills bezeichneten fachlichen Kompetenzen und die sogenannten Soft Skills angesprochen – was genau sind Soft Skills?

Prof. Jude: Es wäre schön, wenn es eine einfache Definition gäbe! Bei Soft Skills oder „21st Century Skills“ geht es immer um Kompetenzen, die mehrere Aspekte vereinen und die in der Regel in interaktiven Situationen zur An-

wendung kommen. Unter Soft Skills verstehen wir meist soziale Kompetenzen wie Problemlöse- oder Kommunikationsfähigkeit, aber auch etwa Metaskills, also die Fähigkeit, darüber zu reflektieren, was ich gerade tue, was ich noch nicht weiß oder wie ich zu einem bestimmten Ziel komme. Das ist auf jeden Fall mehr, als Fachwissen isoliert anzuwenden, wie das bei den Hard Skills, den fachlichen Kompetenzen, der Fall ist, also beispielsweise eine einfache Gleichung lösen zu können.

Gibt es bei den Kompetenzen, die die Schule vermitteln sollte, eine Art Hierarchie?

Prof. Jude: Es gibt natürlich eine Art Kanon von Grundkompetenzen wie Lesen, Schreiben, Rechnen, naturwissenschaftliche Kenntnisse. Aber bei dem, was Bildung bewirken soll, würde es mir nicht reichen, wenn Schulabsolvent:innen zwar rechnen, lesen und schreiben können, aber nicht Probleme lösen oder sozial handeln. Heutzutage kommt es immer mehr auf überfachliche Kompetenzen an, die man in allen Fächern braucht und in realen

DEAR READERS OF RUPERTO CAROLA,

When we started out with the new RUPERTO CAROLA research journal ten years ago, we wanted to give our local, national and international readership an understanding of the top-level research being conducted at Heidelberg University and of the scientists behind it, as well as showcase the special strengths of a comprehensive university. Today we are presenting the twentieth edition, entitled SOFT & HARD, and I am proud to say that Heidelberg University's research journal has set new standards in science communication. The winner of multiple national and international awards for its combination of socially relevant research topics and an outstanding layout, the journal is a joy to browse through, offering insights into the wide range of research across subjects and disciplines that our comprehensive university has to offer. I would like to extend my thanks to everyone involved, particularly the authors, the editorial team and the academic advisory council of the research journal.

The current anniversary edition with its central theme of SOFT & HARD traces an arc from malaria research, which looks back on a long and successful history in Heidelberg, to the research being conducted at our new Faculty of Engineering Sciences. The articles cover topics like personal development in adults, the acceptance of compromise in politics and the dual character of literary experience, as well as new biomaterials for joint regeneration and the interdependencies between hardware and software.

I wish you a productive reading experience with our anniversary edition and look forward to sharing more exciting research news from Heidelberg University with you!

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

„Am wichtigsten für ein Studium ist Neugierde – und das ist eher ein weicher Aspekt in den sogenannten harten Naturwissenschaften!“

Rüdiger Klingeler

Situationen anwendet. Das wäre für mich aber nicht höherwertig, sondern eher das Ganze vereinend.

Prof. Klingeler: Wir Lehrenden an der Universität sind ja gewissermaßen ein „Abnehmer“ der schulischen Bildung, auf deren Grundlage wir Studierende weiter ausbilden. Aus der Erfahrung mit meinen Studierenden, die in der Regel sehr gute Voraussetzungen in das Studium mitbringen, würde ich mir von den Schulen vor allem die noch bessere Vermittlung von Textverständnis, stringenstem Kommunizieren und Argumentieren wünschen. Die Fähigkeit, Probleme darzustellen, strukturiert Gedanken wiederzugeben – das steht in meiner persönlichen Hierarchie dessen, was Studierende können sollten, ganz oben. Denn diese Fähigkeiten sind essenziell wichtig und wir können deren Aneignung – im Gegensatz zu den Fachkompetenzen – gerade zu Studienbeginn weniger gut unterstützen.

Prof. Jude: Da sind wir wieder bei dem unscharfen oder weichen Bildungsbegriff, nämlich der Frage, was Schule an Bildung vermitteln soll und wie sie es vermitteln kann. Reicht es, übergreifende Kompetenzen, bei denen es um so etwas wie Verstehen, Zusammenbringen und Reflektieren geht, im normalen Fachunterricht zu vermitteln? Es gibt zum Beispiel viele Ansätze des personalisierten Lernens, bei dem die Schüler:innen ganz gezielt aus der

schulischen Struktur des reinen Fachunterrichts ausbrechen und eigene, freie Lernzeit bekommen oder gemeinsam Projekte umsetzen, in denen diese Fähigkeiten viel besser gelernt und geübt werden können. Wichtig ist, dass Schüler:innen lernen, zu reflektieren, was sie bereits können und was nicht, anstatt ihnen nur vorzugeben, was sie bis zur nächsten Klausur lernen müssen. Das ist etwas, was erlernt werden muss und später im Studium nötig ist.

Prof. Klingeler: Ich würde noch einen Schritt weiter gehen und sagen: Am wichtigsten für unser Studium scheint mir die Neugierde zu sein. Die Neugierde, Dinge verstehen zu wollen, Phänomene begreifen zu wollen. Wenn ich meine Studierenden frage, was sie zur Physik gebracht hat, dann sind es in der Regel Erfahrungen in der Schule, die sie begeistert haben – das Ergebnis eines Experiments, das Erleben, wie man Natur mit Mathematik beschreiben kann oder wie die Mathematik sich in physikalischen Phänomenen widerspiegelt. Mehr, als dass sie weiterhin von unserem Fach begeistert sind, brauchen wir eigentlich gar nicht, und das ist ja eher ein weicher Aspekt in den sogenannten harten Naturwissenschaften! Forschen heißt lernen und neugierig den offenen Forschungsfragen nachgehen. Nobelpreise gewinnen Menschen, die von einer Idee begeistert sind und diese neugierig verfolgen. Das ist genau das, was den Fortschritt in der Gesellschaft fördert!

HARD FIGURES – SOFT SKILLS

DEFECTS AND THE STABILITY OF SYSTEMS

INTERVIEW WITH NINA JUDE & RÜDIGER KLINGELER

Hardness is a physical quantity describing a body's mechanical resistance to penetration by another body; soft condensed matter refers to materials that cannot be clearly identified as either liquid or solid. But what role do the terms “hard” and “soft” play in science beyond the realm of physics – for instance, can we justifiably describe the natural sciences as “hard sciences”? How can we measure soft aspects with hard indicators? And which soft and hard skills are required for a successful university education? These are some of the questions on the table for the educational scientist Nina Jude and the condensed-matter physicist Rüdiger Klingeler.

According to Nina Jude, education is a soft field of research that can nevertheless be made comparable with the help of measurable, “hard” criteria. Both hard, i.e. subject-specific, and soft, personal skills can therefore be quantified – “what’s always important is the theoretical assumption of what constitutes a skill: what enables one person to solve certain problems better than another person?” This is where Rüdiger Klingeler sees a methodological parallel with his own area of research: “The theoretical basic premises are important, and the question is always: how credible are the data? Can I make a general statement based on my personal observation?” With regard to the classification of sciences as “hard” and “soft”, he believes there is no reason to consider a physical conclusion “harder” than a numerical value quantifying a skill in an education test.

Both scientists agree that subject-specific skills alone are no guarantee for a successful education. “In today’s world, success is increasingly determined by interdisciplinary qualifications that are needed in all subjects and that we apply in real situations”, underlines Nina Jude. Based on his teaching experience, Rüdiger Klingeler believes that curiosity and enthusiasm for the subject are the most important success factors. “And that is a rather soft aspect of the so-called hard natural sciences!” ●

PROF. DR NINA JUDE is a professor at Heidelberg University's Institute for Education Studies specialising in national and international education studies. Before transferring to Heidelberg in October 2020, she studied and earned a doctorate in psychology, then worked as a scientific project manager at DIPF | Leibniz Institute for Research and Information in Education in Frankfurt/Main, where she coordinated the development of the context questionnaires for the PISA student assessment programme. Nina Jude's research centres on capturing contextual factors of education and quality indicators at different levels of the education system. She is currently investigating the challenges and strategies of schools in coping with the fallout from the COVID-19 pandemic, and methodological approaches for predicting developments in education systems in the context of the UN sustainable development goals.

Contact: jude@
ibw.uni-heidelberg.de

PROF. DR RÜDIGER KLINGELER has been Professor of Experimental Physics at Heidelberg University's Kirchhoff Institute for Physics since 2010. He previously worked at RWTH Aachen, the LNCMP Magnetic Field Laboratory in Toulouse (France) and the Leibniz Institute for Solid State and Materials Research in Dresden. His research interests include the structural, electronic and magnetic properties of new materials, with special focus on correlated quantum materials and lithium-ion batteries. Rüdiger Klingeler is a member of the STRUCTURES Cluster of Excellence and on the executive committee of the flagship initiative "Engineering Molecular Systems"; he previously served as Spokesperson of the Graduate School HGSFP and Director of Heidelberg University's Centre for Advanced Materials (CAM).

Contact: ruediger.klingeler@
kip.uni-heidelberg.de

“We can describe education as something that’s very soft, but for which we try to derive measurable, i.e. hard, criteria in order to draw comparisons.”

Nina Jude

“As a physical quantity, hardness is a body’s resistance to penetration by another body.”

Rüdiger Klingeler

Herr Klingeler, es gibt sogenannte superharte Materialien – wofür brauchen wir so etwas?

Prof. Klingeler: Nehmen wir einen Kupferstab, dessen atomare Struktur durch vorheriges Erwärmen besonders gut geordnet ist – diesen kann man leicht verbiegen, aber wenn man ihn danach wieder zurückbiegen möchte, ist das viel schwieriger. Die Verformung des Stabs entsteht durch Defektbildung in der vorher weitgehend perfekten kristallinen Struktur des Metalls, und erst die Existenz solcher Defekte macht metallische Materialien dann fest genug, größeren mechanischen Kräften zu widerstehen. Die Defekte sind also essenziell wichtig für die Festigkeit des Materials. Wenn man nun durch den Herstellungsprozess verhindert, dass Atome sich zu kristallinen Strukturen organisieren und auf diese Weise ein atomar ungeordnetes Metall herstellt, dann sind solche Metalle, die auch als metallische Gläser bekannt sind, besonders hart – eben superhart. Daraus kann man beispielsweise Kugellager für künstliche Hüftgelenke herstellen, da manche metallischen Gläser besonders kompatibel zu biologischer Materie sind und sehr gut in Knochen einwachsen, oder man kann Skalpell fertigen, die besonders lange scharf bleiben. Der Nachteil: Wenn man ein solches Skalpell bei der Herstellung schärfen will, ist das sehr aufwendig und teuer.

Frau Jude, Sie untersuchen aktuell die Erfahrungen der Schulen in Deutschland, Österreich und der Schweiz mit der Corona-Pandemie. Was haben Sie bisher herausgefunden?

Prof. Jude: In unserer „S-CLEVER“-Studie haben wir Schulleiter:innen zunächst im Sommer 2020 nach den Erfahrungen mit dem ersten Shutdown befragt, vor welchen Herausforderungen sie stehen und mit welchen Strategien sie diese angehen wollen. Das haben wir noch zweimal über das Schuljahr 2020/2021 hinweg wiederholt. Interessant war, dass Grund- und Primarschulen sowie Gesamtschulen, die es gewohnt sind, mit Heterogenität bei den Schüler:innen umzugehen, zwar großen Respekt vor den Herausforderungen hatten, sich aber zunächst so eingeschätzt haben, dass sie damit auch umgehen können. Nach einem Jahr haben wir gesehen, dass die Herausforderungen nicht weniger wurden und die Idee nicht funktioniert hat, dass man mit kleineren Umstellungen gut mit dieser lange andauernden Disruption umgehen kann. Tatsächlich waren die Schulen ständig mit unterschiedlichen Herausforderungen konfrontiert, so dass das Belastungserleben permanent sehr hoch war.

Wir sehen auch Unterschiede zwischen den drei Ländern. Sehr deutlich ist etwa, dass die Schweiz digital besser aufgestellt war – die Schulen hatten wesentlich mehr Geräte und alle Lehrpersonen waren mit Internetadressen ausgestattet. Zudem hatte die Schweiz im gesamten Winter 2020/21 Präsenzunterricht, es gab also ganz andere Belastungsfaktoren als in deutschen und österreichischen



PROF. DR. RÜDIGER KLINGELER hat seit 2010 eine Professur für Experimentelle Festkörperphysik am Kirchhoff-Institut für Physik der Universität Heidelberg inne. Frühere wissenschaftliche Stationen waren die RWTH Aachen, das Magnetfeldlabor LNCMP Toulouse (Frankreich) und das Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung in Dresden. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören strukturelle, elektronische und magnetische Eigenschaften neuer Materialien, mit einem besonderen Fokus auf korrelierten Quantenmaterialien und Lithium-Ionen-Batterien. Rüdiger Klingeler ist Mitglied des Exzellenzclusters STRUCTURES und gehört dem Leitungsgremium der Flagship-Initiative „Engineering Molecular Systems“ an, zudem war er Sprecher der Graduiertenschule HGSFP und Direktor am Centre for Advanced Materials (CAM) der Universität Heidelberg.

Kontakt: ruediger.klingeler@kip.uni-heidelberg.de

Schulen. Es wird sich also erst in nächster Zeit zeigen, was es tatsächlich für die Schüler:innen in Deutschland bedeutet, dass sie im Unterschied zu anderen Ländern sehr lange auf Distanz unterrichtet wurden.

Im Prinzip ist das eine Art riesiger Laborversuch und für die Bildungswissenschaft sicher sehr spannend?

Prof. Jude: Natürlich, um die Auswirkung solcher bisher unbekanntem Einflussfaktoren auf das Bildungssystem nachverfolgen zu können, haben wir diese Studie gemacht – aber ein Vergleich ist nicht ganz einfach. Denn zu den beiden Faktoren „Schulschließungen – ja/nein“ und „Digitalisierung – hoch/niedrig“ kommen noch viele andere Faktoren hinzu. Deswegen können wir bei solchen internationalen Vergleichen immer nur zunächst beschreiben, um dann zu analysieren, ob es Zusammenhänge gibt. Zum Beispiel versuchen wir herauszufinden, ob Schulen mit einem hohen Anteil an sozial benachteiligten Schüler:innen, die zu Hause wenig unterstützt werden konnten, entweder eine höhere Belastung hatten oder eher individueller vorgegangen sind. Wir wollen auch wissen, was die völlig neue Unterrichtssituation für Schüler:innen bedeutet hat. Denn es gibt nicht nur Schüler:innen, die darunter gelitten haben – es gibt auch solche, denen das Distanzlernen entgegenkam, weil sie sich dadurch die Zeit nehmen konnten, die sie für ein Thema brauchten. Sie konnten also für sich die Möglichkeit des bereits erwähnten personalisierten Lernens nutzen, das wir als wichtig und zukunftssträftig erachten. ●

Das Interview führten Marietta Fuhrmann-Koch & Mirjam Mohr

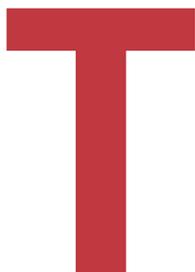
INSPIRED BY NATURE

INSPIRED BY NATURE

PRINTING REVOLUTION

EVA BLASCO

More than 500 years after Johannes Gutenberg invented his printing press, we are in the middle of a new printing revolution: 3D printing, also known as additive manufacturing. 3D printing is the process of creating a 3D object from a digital file. Thanks to recent advances in the field, we are now able to print a range of materials including metals, ceramics, polymers and even biological materials. Combining molecular engineering with state-of-the-art 3D printing techniques, materials scientists today are developing new printable materials that emulate the characteristics and behaviour of living systems. Current endeavours at Heidelberg University revolve around 3D printable materials that react to external stimuli like light, heat or electrical/magnetic fields, and that are able to change their properties over time.



The history of printing began more than 5,000 years ago. Some societies in Asia and the Middle East already used an early form of printing to engrave images onto clay or cloths by using cylindrical rollers or stamps. However, the first printed book known was created many years later (868 AD) in China. At this early stage, printing was limited in the number of editions and books were hand-copied. A real innovation appeared in the 15th century when Johannes Gutenberg, a German craftsman, invented the movable type press, which revolutionised the world of printing. He strongly improved the process by dividing it into two separate steps, typesetting and printing. For the former, the key elements of his invention included: i) a metal alloy consisting of lead, tin, and antimony to form durable reusable types which were cleaned after each printing process and reused to print other documents, and ii) an oil-based ink that was more durable than the previously used water-based inks, sufficiently thick to adhere well to metal, and could be transferred to vellum or paper. Gutenberg's invention is considered to have changed the course of history. It allowed us to print books in a timely manner and at low cost, it opened up access to knowledge and facilitated its transfer between generations. Without printing, we would have missed important progress including, for example, scientific discoveries. It is worth noting that, throughout, the development and success of printing has been linked to the materials accessible in each era – such as wood, metal, paper and so forth.

From 2D to 3D printing

The history of printing did not end with Gutenberg's invention. The concept and technologies of printing continue to evolve rapidly. Three-dimensional (3D) printing has gained much attention over the course of the last years. 3D printing is a manufacturing process that creates a physical object from a digital 3D model file. In other words, while ordinary printers in our homes or offices print graphics and text on two-dimensional (2D) paper with inks, 3D printers convert digital data into 3D objects using different materials.

3D printing has become a promising tool offering a great number of opportunities to society. Above all, it comes with greater freedom in terms of designing and producing personalised and customised products at no additional cost, shortening the time it takes for the finished product to become available on the market! Currently, there are three main types of 3D printing technologies: sintering, melting, and stereolithography. For the two first ones, powdery materials that can be sintered or melted, for example using a laser, solidify after cooling to generate a 3D object. Stereolithography is the original 3D printing technology and was first patented by the US-American inventor and engineer Chuck Hull in 1984. This technol-

ogy is based on a light-induced process that results in the hardening of the ink, usually a mixture of liquid molecules called monomers or prepolymers, in a spatially controlled manner. Depending on the 3D printer, the typical resolution of this technology lies in the range of 100 to 200 microns, i.e. the thickness of one or two human hairs. Subsequently, closely related technologies such as Digital Light Processing (DLP) or Continuous Liquid Interphase Printing (CLIP) have also been developed, allowing for much faster printing while maintaining good resolution and printing quality. Access to 3D printing at the micro- and nanometre regime – objects so small as to be invisible to the naked eye – has become possible by employing more sophisticated photochemical processes relying on two-photon absorption and, more recently, the so-called “two-step absorption” process. Using the latter, we recently demonstrated the possibility of using more compact and smaller printers, which are less expensive, while achieving remarkable resolution.

Choosing the correct material is as important as choosing a suitable printing technology. The right material, and technology, will always depend on the final application. Among the first properties that need to be adjusted in a printed material are its mechanical properties: black and white in paper printing can be seen as the new hard and soft in 3D printing. The first 3D printing methods focused on polymeric materials – a more general term for what we commonly refer to as plastics – because they are easy to manufacture and handle. However, the field has evolved rapidly and enabled us to use a broad variety of materials including metals and ceramics. Currently, it is possible to print hard materials such as metals for applications in automotive, or materials as soft as a hydrogel (e.g. gelatine) – a polymer-based material with a high content of water – for biomedicine.

Thus, to bring this field to the next level and exploit its full potential, further efforts need to be made in the development of new advanced functional materials. This is one of the research foci within the Cluster of Excellence “3D Matter Made to Order” (3DMM2O), a joint initiative of Heidelberg University and Karlsruhe Institute of Technology (KIT), where my group works on new features for printed materials such as conductivity, super-resolution or degradability. For instance, we designed new inks that can be erased as needed using laser light – much in the same way that pencil marks can be rubbed out using a rubber eraser. We also developed a new ink that can be deleted with just plain water. This is highly desirable in the context of biological applications, where the use of mild conditions is mandatory. In summary, our goal within the 3DMM2O framework is to open up new possibilities in the fields of optical, engineering and biological sciences, which would be impossible to reach without a

“Choosing the correct material is as important as choosing a suitable printing technology.”

multi-disciplinary approach combining materials design and cutting-edge technologies.

3D printing in our daily lives

While 3D printing was originally intended as a means of prototyping in industry, among other things, and a lot of research in the field is still ongoing, this technology is already used in different fields including aerospace, automotive or art and design, and it is becoming a popular subject in medicine. One of the fields in which the technology is already quite advanced is dentistry. For example, for dental implants or orthodontics, 3D imaging using computed tomography scans helps to create models that can be 3D printed afterwards. The main advantages of this technology are that it is patient-specific, accurate and that it avoids the use of molds, which means that hardly any material is wasted.

Just as it happened with paper laser printers, 3D printers are also becoming more affordable. It is quite possible that we will have one of them at home in a few years. Nowadays, 3D printers for all kinds of user needs and budgets are available on the market. Indeed, it is possible to buy a desktop 3D printer for less than 300 euros. As a consequence, the number of people who make 3D printing one of their hobbies is increasing more than ever. On the internet one can find different open platforms where the members of the 3D printing community share 3D models and codes for the fabrication of useful, and less useful, objects. Curious examples are castors to repair a broken wobbly chair, screwdrivers or mobile phone cases with incorporated bottle openers.

The benefits of 3D printing do not end in the factory or at home. Education is another area in which 3D printing is starting to be explored. 3D printers in classrooms can be excellent tools to introduce 3D design to art students and also a very valuable instrument for teachers or lecturers in many other disciplines. 3D objects help to visualise a given problem more precisely and with greater ease than

conventional schemes on paper or on the blackboard can, which are limited to two dimensions. This can be advantageous when it comes to explaining complex concepts that require 3D spatial visualisation. Examples of possible practical cases include 3D molecular models in chemistry, mathematical or physics problems or topographic maps in geology.

The future of printing: towards 4D printing and sustainability

Most of the materials and techniques currently employed in 3D printing are limited to the fabrication of static objects with a certain stiffness. But what about printing materials that are as elastic as a blowfish and can react to an external stimulus? Or materials that can change their colour like a chameleon or move towards the sun just like sunflowers do? This is one of the main goals of our research group: to create synthetic materials with “life-like” characteristics and behaviour by combining (macro)molecular engineering with 3D printing technologies. This concept is called 4D printing and the additional dimension refers to the ability of a 3D printed object to change its properties over time. As usual, nature is our best source of inspiration. Natural materials are usually constituted of a limited number of molecular building blocks such as amino acids and carbohydrates, and the underlying hierarchical structure governs their exceptional adaptive properties.

Our group has shown the first examples of adaptive printable materials on a micro- and nanoscale. In particular, we have demonstrated the possibility of controlling the shape of 3D microstructures on demand upon external stimuli such as chemicals, temperature or light. Light is a very attractive stimulus since it allows for spatial and temporal control. Currently, we are making major efforts in this direction to manufacture complex systems that are able to respond to different wavelengths of light. Although there is a long way to go before we reach the level of precision inherent in natural systems, I believe that achieving a



JUNIOR PROF. DR EVA BLASCO has been a professor at the Institute of Organic Chemistry and at the Institute for Molecular Systems Engineering and Advanced Materials of Heidelberg University since October 2020. She previously worked at Karlsruhe Institute of Technology (KIT), first as an Alexander von Humboldt scholarship holder and, afterwards, as a group leader at the Institute of Nanotechnology (INT-KIT). She is a principal investigator at the Cluster of Excellence “3D Matter Made to Order” (3DMM2O), a collaboration between Ruperto Carola and KIT. Her research interests include the design of smart functional materials and 3D printing technologies.

Contact: eva.blasco@oci.uni-heidelberg.de

finer control in the design of printable materials will open up new opportunities in promising fields such as (micro) robotics, controlled drug delivery or tissue engineering. Last and certainly not least, we must not forget about sustainability. Even though 3D printing is more sustainable than other manufacturing techniques – it does not require molds and produces less waste – there are still a few issues to be solved. Polymers are key materials for many 3D printing techniques. However, the vast majority of polymers are still derived from petrochemicals, contributing negatively to the greenhouse effect and the depletion of our fossil reserves. Recently, there has been a growing interest in utilising renewable materials such as lignin-derivatives available from many trees and plants and vegetable oils and sugars as feedstock for printable polymer-based materials. In particular, we have successfully demonstrated the use of biobased inks based on five different vegetable oils – soybean, sunflower, canola, sesame and olive oil – which

“As usual,
nature
is our best
source of
inspiration.”

Der Exzellenzcluster 3D Matter Made to Order

Einen stark interdisziplinären Ansatz verfolgt der gemeinsam von der Universität Heidelberg und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) getragene Exzellenzcluster „3D Matter Made to Order“ (3DMM20), der Natur- und Ingenieurwissenschaften verbindet. Er beschäftigt sich mit der Frage, wie digitale Blaupausen durch additive Fertigung – insbesondere 3D-Druck – in Designermaterie mit gewünschter Funktion umgesetzt werden können. Eine wichtige Motivation ist dabei das Vorbild biologischer Systeme, die Moleküle auf der Nanometerskala zusammensetzen können, um damit gewünschte Funktionen auf der Zell- oder Gewebeebene zu erzielen. Für Anwendungen mit biologischen Systemen ist es das langfristige Ziel, industriell fabrizierte Werkstoffe und lebende Systeme miteinander zu integrieren, indem beispielsweise organotypische Systeme durch 3D-gedruckte Strukturen kontrolliert werden. Ziel ist die vollständige Digitalisierung der 3D-Fertigung und -Materialverarbeitung.

Der Exzellenzcluster wurde im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder eingerichtet. Sprecher sind Prof. Dr. Martin Wegener vom KIT und Prof. Dr. Joachim Wittbrodt vom Centre for Organismal Studies (COS) der Universität Heidelberg. Ein zentrales Strukturelement ist die HEiKA Graduiertenschule „Functional Materials“, die Masterstudierende und Doktorand:innen in das Forschungsgebiet einbindet. HEiKA steht für die Heidelberg Karlsruhe Strategic Partnership, die alle gemeinsamen bilateralen Aktivitäten des KIT und der Universität Heidelberg umfasst.

www.3dmm20.de

VON DER NATUR INSPIRIERT

REVOLUTION DES DRUCKENS

EVA BLASCO

Auch wenn die Geschichte des Druckens bereits vor mehr als 5.000 Jahren mit Bildern begann, die in Materialien wie Lehm oder Textilien eingeritzt wurden, war die Erfindung der Druckerpresse durch Johannes Gutenberg im 15. Jahrhundert dennoch eine echte Innovation. Sie sollte jedoch nicht die letzte bedeutende Erfindung in der Geschichte des Druckens bleiben. Derzeit durchleben wir eine weitere Revolution: die des 3D-Drucks, bei dem auf Basis einer digitalen 3D-Modell-datei ein physisches Objekt erzeugt wird. Anders ausgedrückt: Während „normale“ Drucker Grafiken und Text mit Farbe auf zweidimensionales (2D) Papier drucken, wandeln 3D-Drucker mithilfe verschiedener Materialien digitale Daten in dreidimensionale Gegenstände um.

Die Wahl des richtigen Materials ist dabei ebenso wichtig wie die Wahl des Druckverfahrens: Analog zum Schwarz-Weiß-Kontrast beim Papierdruck kommen im 3D-Druck harte und weiche Materialien zum Einsatz. Wie beim 2D-Druck auf Papier gibt es aber auch im 3D-Druck nicht nur Schwarz und Weiß, sondern auch viele Grautöne und sogar Farben. Darüber hinaus wäre es höchst attraktiv, über eine große Bandbreite druckbarer Materialien mit unterschiedlicher Funktionalität, beispielsweise Leitfähigkeit, Biokompatibilität oder Abbaubarkeit, zu verfügen. Allerdings ist die Materialauswahl für heutige 3D-Druckverfahren begrenzt. Die meisten der aktuell genutzten Werkstoffe und Techniken eignen sich nur für die Herstellung statischer Objekte.

Könnte man nicht neue Materialien gestalten, die so elastisch wie ein Kugelfisch sind und auf externe Stimuli reagieren? Oder die wie ein Chamäleon ihre Farbe ändern oder sich wie Sonnenblumen nach der Sonne ausrichten können? Das ist eines der Hauptziele unserer Forschungsgruppe: Inspiriert von Phänomenen und Eigenschaften in der Natur wollen wir durch Kombination von makromolekularer Chemie und 3D-Druck synthetische Materialien mit „lebensechten“ Eigenschaften und Verhaltensweisen entwickeln. ●

JUNIORPROF. DR. EVA BLASCO forscht und lehrt seit Oktober 2020 am Organisch-Chemischen Institut und am Institute for Molecular Systems Engineering and Advanced Materials der Universität Heidelberg. Zuvor war sie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) tätig, zunächst als Humboldt-Stipendiatin und später als Gruppenleiterin am Institut für Nanotechnologie (INT-KIT). Eva Blasco ist Projektleiterin im Exzellenzcluster „3D Matter Made to Order“ (3DMM20), einem Gemeinschaftsprojekt der Universität Heidelberg und des KIT. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören die Gestaltung intelligenter Funktionsmaterialien und die Verfahren des 3D-Drucks.

Kontakt: eva.blasco@oci.uni-heidelberg.de

„Aktuell können harte Werkstoffe wie Metalle für den Automobilbau gedruckt werden, aber auch sehr weiche Materialien wie ein Hydrogel für die Biomedizin.“

“Polymers are key materials for many 3D printing techniques.”

Institute for Molecular Systems Engineering and Advanced Materials

Als Zusammenführung des interdisziplinären Institute for Molecular Systems Engineering (IMSE) und des materialwissenschaftlichen Forschungszentrums Centre for Advanced Materials (CAM) entsteht an der Fakultät für Ingenieurwissenschaften eine neue wissenschaftliche Einrichtung: das Institute for Molecular Systems Engineering and Advanced Materials. Es soll die interdisziplinäre Grundlagenforschung in den beiden Bereichen intensivieren und für die Lehre und Ausbildung sowie den Technologietransfer erschließen. Das umfasst die Forschung an nicht-biologischen und biologischen Materialien und molekularen Systemen sowie deren Anwendungen. Das Institut widmet sich der Grundlagenforschung in den Materialwissenschaften mit einem Schwerpunkt auf Materialien für die organische und gedruckte Elektronik und Optoelektronik sowie Themen an der Schnittstelle der Natur- und der molekularen Lebenswissenschaften, der Materialwissenschaften und des molekularen Engineerings.

are very attractive as a feedstock due to their wide availability and low price. We believe that biobased inks are an essential step towards making 3D printing sustainable; however, they are not the final solution to the problem.

Most 3D printed polymer materials are neither degradable nor recyclable. The terms biobased and biodegradable are often used interchangeably, but they have different meanings. Biobased refers to the origin of a material, whereas biodegradable refers to its compostable characteristics. Also, one should not assume that every biobased material is biodegradable or that every biodegradable material is biobased. Thus, the development of biobased and biodegradable printable materials to reach a sustainable, circular polymer economy is a challenging task that our group is currently pursuing, yet one that is vital for our future. ●

VERKNO

CHERT?

VERKNÖCHERT?

NEUE BIOMATERIALIEN FÜR STABILE GELENKE

WILTRUD RICHTER

Knochen und Knorpel geben dem Körper Halt. Doch wie entstehen die beiden wichtigen Stützstrukturen? Heidelberger Forscher:innen haben die molekularen Weichen für die Entwicklung in Richtung „eher hart“ oder „eher weich“ erkannt. Ihre Erkenntnisse eröffnen neue Chancen für die regenerative Medizin, etwa für eine effiziente Behandlung von Knorpelschäden mit Biomaterialien.

D

Das Leben der Wirbeltiere inklusive des Menschen ist ohne Skelett nicht denkbar. Wie aber entstehen harte Stützstrukturen inmitten von Weichgewebe? Das Wissen um diese grundlegenden biologischen Vorgänge lässt sich für die regenerative Medizin nutzen, die Erkrankungen heilen will, indem sie funktionsgestörtes Gewebe wiederherstellt, etwa mit eigens dafür herangezuchteten biologischen Ersatzgeweben. Ein Beispiel sind Knorpeldefekte von mehreren Quadratzentimetern Größe, die nach Unfällen und Verletzungen chirurgisch versorgt werden, damit sie sich nicht zu einer flächigen Knorpeldegeneration, der Arthrose, und damit der weltweit häufigsten Gelenkerkrankung weiterentwickeln. Derzeit gibt es keine Behandlung, die solche Knorpeldefekte komplett heilen könnte. Die Hoffnungen liegen hier auf regenerativen Ansätzen, die den Aufbau und die Aufgaben des menschlichen Knorpels mittels neuer Zellen in biologischen Trägermaterialien wiederherstellen wollen. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist es, die molekularen Signalwege und Schaltpläne zu kennen, die der Körper nutzt, um in Vorläuferzellen die Weichen für die Entwicklung in Richtung Knorpel oder in Richtung Knochen zu stellen.

Knorpel und Knochen

Die Evolution hat viele stützende Gewebearten hervorgebracht. Bei den heute lebenden Wirbeltieren finden sich nur noch zwei: Knorpel und Knochen. Beiden ist gemeinsam, dass sie sich im Unterschied zu den weichen Geweben durch Steifigkeit und Widerstandskraft auszeichnen.

„Bis heute ist der Aufbau von Ersatzgeweben aus mehr als einer Gewebeart eine große Herausforderung.“

Diese Gemeinsamkeit beruht jedoch auf zwei völlig unterschiedlichen Bauprinzipien. Die Steifigkeit und der Kompressionswiderstand von Knorpel basiert vorwiegend auf den Eigenschaften seiner „extrazellulären Matrix“. Das ist die mächtige Grundsubstanz zwischen den Knorpelzellen, in der sich Kollagenfasern (Typ II) quer vernetzen und dabei Proteoglykane, hochmolekulare Zucker-Protein-Verbindungen, und Glykosaminoglykane, Mehrfachzucker, einschließen. Die Zuckerreste der oft sehr großen Proteoglykane werden durch das Anheften von Sulfatgruppen stark mit negativer Ladung versehen: Das zieht Wasser an, woraufhin sich ein Schwelldruck gegen den Widerstand der Kollagenfasern aufbaut, was das Gewebe stark verfestigt. Unter Last wird Wasser herausgepresst, und der Knorpel gibt nach. Wird die Last geringer, kehrt der Knorpel aufgrund der Wasseranziehung wieder in seine ursprüngliche Form zurück.

Reicht die Steifigkeit des Knorpels nicht aus, kann nachträglich Kalziumphosphat eingelagert und das Knorpelgewebe so mineralisiert werden. Die Mineralisierung geht zulasten der Komprimierbarkeit, versteift den Knorpel jedoch so weit, dass die größten heute lebenden Fischarten, etwa Haie und Rochen, die tragende und stützende Funktion ihres Skeletts ausschließlich Knorpelgewebe verdanken. Die im Vergleich größere Härte von Knochen beruht dagegen auf einer schnellen Mineralisierung seiner extrazellulären Matrix, die vorwiegend aus Kollagen vom Typ I und aus Proteinen besteht, die Kalzium binden können. Ein weiterer Unterschied zum Knorpel ist die komplexe Knochenarchitektur aus balkchenartigen Gewebestrukturen – sogenannten Trabekeln – sowie Röhren, die sich lebenslang entlang mechanischer Belastungszonen umbauen können.

Zonen des Wachstums

Knorpel wächst schnell und behält dabei dennoch seine Festigkeit. Das macht ihn zum bevorzugten Stützgewebe für den Embryo: Fast das gesamte Skelett des Embryos wird zunächst als Modell aus Knorpel angelegt. Während der weiteren Embryonalentwicklung mineralisiert das Knorpelgewebe und wird nach und nach durch harten Knochen ersetzt. Nach der Geburt sind vom ehemaligen Knorpelskelett nur noch wenige, aber sehr essenzielle Bereiche übrig: Knorpel findet sich zum einen in den sogenannten Wachstumsfugen an beiden Endstücken der Knochen, wo das Längenwachstum der Röhrenknochen stattfindet. Am Ende der Pubertät ist das Längenwachstum abgeschlossen – dann ist die Wachstumsfuge verknöchert, Knorpel ist nicht mehr vorhanden. Knorpel – medizinisch korrekt der „hyaline artikulare Knorpel“ – bleibt zum anderen in den Gelenken erhalten und erlaubt es den lasttragenden Knochen, sich reibungsarm zu bewegen. Er liegt der sehr harten Knochenplatte oberflächlich auf und ist von ihr durch eine dünne mineralisierte

Knorpelschicht getrennt. An den Enden der langen Röhrenknochen besteht also ein zonaler Härteabfall vom harten Knochen über eine weniger harte Zwischenschicht aus mineralisiertem Knorpel hin zum komprimierbaren Gelenkknorpel. Das ist für die mechanische Funktion des Gelenks entscheidend.

Aus aktueller wissenschaftlicher Sicht kann man den Gelenkknorpel als oberflächlich gelegene wachstumsfugenähnliche Struktur interpretieren, die sich im Unterschied zu den Wachstumsfugen in Kindheit und Jugend nicht schließt, sondern ein Leben lang erhalten bleibt. Dazu muss der Körper in dieser Region die Weiterentwicklung von Knorpel zu Knochen dauerhaft stoppen, um die nützlichen Funktionen des Knorpels zu bewahren. Vielfältige Störungen des physiologischen Gleichgewichts können jedoch dazu führen, dass Knorpel zu mineralisieren beginnt und sich in Richtung Knochen entwickelt. Bei der Arthrose etwa ist zu beobachten, dass die mineralisierte Knorpelschicht zunimmt und sich zulasten des weicheren hyalinen Knorpels ausdehnt. Auch in den hyalinen Knorpel werden schließlich mineralische Kristalle eingelagert, woraufhin er zunehmend degeneriert und schließlich ganz verschwindet. Das Ziel unserer Forschungsarbeiten am Zentrum für Experimentelle Orthopädie des Universitätsklinikums Heidelberg ist es, diejenigen molekularen Signale zu identifizieren, welche die Entwicklung von Knorpel zu Knochen zeitlich und räumlich steuern, um entscheidende Haltesignale zu finden, mit denen die Degeneration gestoppt werden kann.

Herausforderung Knorpelregeneration

Bewertet man die natürliche Regenerationsfähigkeit von Knorpel im Vergleich zum Knochen, finden sich beide an den gegenüberliegenden Enden der Skala: Knochen kann lebenslang narbenlos regenerieren, Knorpel kann vom Körper nicht ersetzt werden. Um umschriebene Knorpeldefekte mit erhaltener Knorpelschulter zu behandeln, hat die Medizin verschiedene Verfahren entwickelt. Ein Beispiel ist die „Mikrofrakturierung“, eine operative Methode, die darauf zielt, Stammzellen aus dem Knochenmark anzulocken, die sich in Knorpelzellen umwandeln können. Ein anderes Beispiel ist die „autologe Knorpelzelltransplantation“, wozu dem Patienten körpereigene (autologe) Knorpelzellen entnommen, im Labor vermehrt und auf einem Trägermaterial in den Knorpelschaden eingebracht werden. Die Beschwerden der Patienten lassen sich mit diesen Verfahren bessern, und eine Arthrose-Entstehung kann dadurch aufgeschoben werden; ganz verhindern lässt sich die Arthrose damit meist nicht.

Ein Schwerpunkt unserer Arbeiten ist es, die grundlegenden genregulatorischen Netzwerke zu identifizieren, die der Knorpel- und Knochenentwicklung zugrunde liegen. Das soll es uns gestatten, die Entwicklung von Knorpel

aus Stammzellen gezielt anzustoßen, die Entwicklung auf der hyalinen Knorpelstufe anzuhalten oder aber – über eine zunehmende Mineralisierung – weiter bis hin zur Entwicklung von Knochen ablaufen zu lassen. Auf diese Weise könnte es möglich werden, Ersatzgewebe in abgestufter Härte nach der zonalen Struktur und Funktion gesunder Gelenke herzustellen. Womöglich können sich daraus auch neue medikamentöse Behandlungsweisen für die Arthrose ergeben.

Der Heidelberger Forschungsansatz

Der Körper kann zerstörte Knorpelzellen nicht ersetzen. Deshalb ist es wichtig, für Implantationen geeignete Zellquellen zu finden. Das aber ist schwierig. Ein Herausstanzen von Knorpel – wie es derzeit bei der autologen Knorpelzelltransplantation praktiziert wird – ist zu meiden, entstehen dadurch doch weitere Knorpeldefekte. Leichter zu gewinnen sind „Mesenchymale Stammzellen“ (MSC), Vorläuferzellen für verschiedene Zelltypen, die sich aus fast allen Geweben isolieren lassen. Im Labor lassen sich Mesenchymale Stammzellen zuverlässig zu Knorpelzellen heranzüchten (differenzieren). Es blieb aber eine unüberwindbare Hürde, die Entwicklung der Stammzellen auf der „Knorpelstufe“ anzuhalten und zu verhindern, dass sich der neue Knorpel über eine zunehmende Mineralisierung zu Knochen umwandelt. Aus Untersuchungen mit Tieren ist dieses Problem hinreichend

„Bestimmte Signalmoleküle stellen die Weichen für die Entwicklung von Stammzellen zu weichem Knorpel oder hartem Knochen.“

bekannt: Aus Mesenchymalen Stammzellen hergestellter Knorpelersatz, der Mäusen transplantiert wurde, wandelte sich unaufhaltsam in Knochen um. Nicht aus Stammzellen herangezüchtete natürliche (native) Knorpelzellen hingegen sind imstande, ein stabil bleibendes Knorpelgewebe aufzubauen, das nicht mineralisiert und sich nicht zu Knochen weiterentwickelt. Was hält die nativen Knorpelzellen davon ab, ihre Umgebung zu mineralisieren? Oder anders formuliert: Wie kann eine Mineralisierung von Knorpelersatzgewebe aus Mesenchymalen Stammzellen aufgehalten werden?

Um darauf eine Antwort zu finden, haben wir die regulatorischen Netzwerke von Mesenchymalen Stammzellen mit denen von nativen Knorpelzellen verglichen. Das Ergebnis: In knorpelig differenzierenden Mesenchymalen Stammzellen sind drei miteinander vernetzte Signalwege überaktiv („BMP“, „Hedgehog“ und „WNT“), die auch in der Wachstumsfuge von Bedeutung sind. Unterdrückt man während der Knorpelzüchtung im Labor jeweils einen dieser Signalwege, vermindert sich die Neigung des Gewebes, zu mineralisieren. Auch Gene, die für die Knochenentwicklung wichtig sind, werden dann weniger stark angeschaltet. Eine völlige Abschaltung dieser Gene konnte jedoch über einen einzelnen Signalweg nicht erreicht werden: Wie unsere Untersuchungen ergaben, mineralisierte das derart gewonnene Knorpelersatzgewebe nach der Implantation weiterhin, weil der jeweils im Labor zugesetzte Hemmstoff nun abwesend war. Daher galt es möglichst Maßnahmen zu ergreifen, um alle drei Signalwege gleichzeitig zu unterdrücken, und zwar dauerhaft auch nach der Implantation. Idealerweise sollte dies unter Einbeziehung eines biokompatiblen Zellträgers geschehen, der, bestückt mit allen

notwendigen Hemmstoffen, auch nach der Implantation noch lange im Körper verbleiben kann. Im Rahmen des interdisziplinären EU-Forschungsprojekts „Hydrozones“ haben wir, zusammen mit Forscherinnen und Forschern der Technischen Universität Dresden, ein neuartiges dreidimensionales Hydrogel weiterentwickelt und als Zellträger eingesetzt. Es ist modular aufgebaut und kann mit bioaktiven Substanzen bestückt werden. Benötigt werden vier Wirkstoffe: der für die Knorpelentwicklung der Zellen absolut notwendige Wachstumsfaktor TGF- β (Transforming Growth Factor beta) sowie jeweils ein Hemmstoff für jeden der drei erkannten überaktivierten Signalwege, eine durchaus komplexe Aufgabe.

Wir wussten bereits, dass Heparansulfate – sie bilden die Seitenketten der bereits erwähnten Proteoglykane – viele Wachstumsfaktoren, darunter auch TGF- β , sehr gut binden und sich somit für die erste Aufgabe eignen. Weiter war für andere Wachstumsfaktoren bekannt, dass ihre Wirkung durch Bindung an Heparansulfate stark abgeschwächt wurde, wobei das strukturell ähnliche, stärker sulfatierte Heparin noch besser wirkte. Unsere Arbeitshypothese lautete: Falls Heparansulfat und Heparin imstande sind, Moleküle der Signalwege BMP, Hedgehog und WNT der Verfügbarkeit durch die Zellen zu entziehen, könnte es gelingen, alle drei Signalwege gleichzeitig mit einer Substanz zu hemmen und dadurch den Entwicklungsweg von Mesenchymalen Stammzellen zu Knochenzellen aufzuhalten. Über das Entfernen bindungsrelevanter Sulfatreste aus Heparin könnten zudem weitere Abstufungsmöglichkeiten gewonnen werden. Diese Hypothese war durchaus kühn, implizierte sie doch, alle vier komplexen Aufgaben mit nur einem einzigen Molekül zu lösen: dem Heparansulfat-Analogen Heparin.

„Mit unseren Forschungsarbeiten ist ein Meilenstein für ein gezieltes Steuern der Knorpelentwicklung erreicht.“

OSSIFIED?

NEW BIOMATERIALS FOR STRONG JOINTS

WILTRUD RICHTER

To this day, building replacement tissue from more than one type of tissue remains an immense challenge. It requires not only a detailed knowledge of the crucial pathways and switching points involved in the differentiation of precursor cells into distinct directions, but also the technical ability to control the spatial dimension of each tissue area and to stabilise the results. A key task in all this lies in offering the cells a suitable micro-environment for structured tissue development.

During embryonic development, the complex extracellular matrix provides this micro-environment and ensures, among other things, the formation of zones of decreasing hardness at the end of the long bones, from hard bone to a slightly softer intermediate layer of mineralised cartilage and finally the compressible articular cartilage. These zones are crucial for the proper mechanical functioning of the joint. They evolve through the action of so far unknown molecular stop signals that block the further development of hyaline cartilage into mineralised cartilage and then into bone in specific areas of the locomotor system.

Within the framework of an interdisciplinary EU project, we were able to discover the key features of crucial molecular stop signals among the numerous messages of the extracellular matrix and offer them to stem cells via a new and innovative biomaterial. The novel approach stops the evolution of cartilage into bone and enables the development of stable hyaline cartilage of human origin in a living organism. Alternatively, we can also guide the process towards the formation of mineralising cartilage and bone. Not only will these findings permit us to grow zonally structured joint replacement tissues, e.g. using bioprinting methods. They also open up new pharmacological possibilities of preventing undesired cartilage mineralisation in osteoarthritis patients. ●

PROF. DR WILTRUD RICHTER has held the Chair of Experimental Orthopaedics at Heidelberg University since 2004 and heads the Research Centre for Experimental Orthopaedics at Heidelberg University Hospital. Before she came to Heidelberg, she was a researcher at the University of California, San Francisco (USA) and at the University of Ulm, her alma mater, from which she graduated with degrees in biology and chemistry. With her research, Wiltrud Richter aims to regenerate tissue damage in the locomotor system using novel biomaterials and artificially grown biological tissue.

Contact: wiltrud.richter@med.uni-heidelberg.de

“Certain signalling molecules set the points towards the evolution of stem cells into soft cartilage or hard bone.”

Der erhoffte Durchbruch

Die Vorversuche gingen in die richtige Richtung: Das mit Heparin aufgerüstete Hydrogel band den beigemischten Wachstumsfaktor TGF- β nachhaltig und unterdrückte bei kluger Wahl der Dosis sowohl BMP- als auch Hedgehog- und WNT-Signale. Darüber hinaus ließ sich zeigen, dass sich die hemmende Wirkung abschwächen oder aufheben ließ, wenn man bestimmte Sulfatgruppen entfernte. Ausgedehnte Versuchsreihen mit dem neuen Trägermaterial im lebenden Organismus erbrachten schließlich den erhofften Durchbruch: Aus Mesenchymalen Stammzellen, die aus menschlichem Knochenmark gewonnen worden waren, ließ sich erstmalig neuer Knorpel züchten, der resistent gegen Mineralisierung war, stabil Knorpel bildete und sich auch nach längerer Zeit nicht zu Knochengewebe weiterentwickelte. Senkte man den Heparin-Sulfatspiegel auf etwa ein Drittel, stellten sich die Weichen anders: Dann begann der Knorpel zu mineralisieren und entwickelte sich zu Knochen mit allen seinen charakteristischen Merkmalen.

Damit ist ein Meilenstein für ein gezieltes Steuern der Knorpel- beziehungsweise Knochenentwicklung erreicht. Mit dem Sulfatierungsstatus von Heparansulfaten halten wir zudem den Schlüssel für die Weichenstellung und den Erhalt der Stabilität von hyalinem Knorpel in der Hand. Neben der Aussicht, zonal strukturiertes Knorpelersatzgewebe im Labor züchten zu können, kann dieses Wissen künftig womöglich auch genutzt werden, um unerwünschte Mineralisierungen während des Entstehens der Arthrose medikamentös zu verhindern. Unserem Kooperationspartner Carsten Werner vom Leibniz-Institut für Polymerforschung in Dresden ist es inzwischen gelungen, das Hydrogel über Biodruckverfahren gezielt zu zonalen Strukturen aufzubauen. Für weitere Charakterisierungen stehen also spannende Aufgaben bevor. ●



PROF. DR. WILTRUD RICHTER ist seit 2004 Professorin für Experimentelle Orthopädie an der Universität Heidelberg und leitet das Forschungszentrum für Experimentelle Orthopädie am Universitätsklinikum Heidelberg. Vor ihrer Berufung nach Heidelberg forschte sie an der University of California, San Francisco (USA) sowie an der Universität Ulm, wo sie zuvor Biologie und Chemie studierte. Das Ziel von Wiltrud Richters Forschung ist es, Gewebeschäden im Bewegungsapparat mithilfe neuartiger Biomaterialien und der künstlichen Herstellung biologischer Gewebe zu regenerieren.

Kontakt: wiltrud.richter@med.uni-heidelberg.de

Forschungszentrum für Experimentelle Orthopädie

Das Forschungszentrum für Experimentelle Orthopädie ist eine unabhängige Einrichtung im Zentrum für Orthopädie, Unfallchirurgie und Paraplegiologie am Universitätsklinikum Heidelberg. Das interdisziplinäre Team widmet sich der Entwicklung neuer und innovativer Ansätze zur Regeneration beschädigter Gewebe des Bewegungsapparates. Ziel ist es, durch weitere Aufklärung der molekularen und zellulären Grundlagen biologischer Regenerationsprozesse die Heilung von geschädigtem Knorpel-, Knochen- und Bandscheibengewebe zu verbessern. Hierzu setzen die Forscher:innen Wachstumsfaktoren, funktionalisierte Biomaterialien, lebende Zellen und durch sogenannte Tissue-Engineering-Verfahren gezüchteten Gewebersatz ein, der auch durch neue Fabrikationsmethoden wie Bioprinting hergestellt wird.

IT TAKES

TWO

TO TANGO

IT TAKES TWO TO TANGO

FLUID-ROCK INTERACTIONS IN THE EARTH'S INTERIOR

LUCIE TAJČMANOVÁ

The processes taking place inside rocks of the Earth's crust are characterised by a complex interplay of reacting solids and fluids. Mineral reactions and phase transitions within the Earth's interior are responsible for geological events like volcanic eruptions, earthquakes, and mountain building. Studying rock microstructures reveals how the Earth could have evolved. Combining field studies and innovative laboratory experiments with numerical modelling, researchers at the Institute of Earth Sciences of Heidelberg University aim to advance our understanding of the chemical transport, mechanical properties and behaviour of rocks by studying the physico-chemical processes that govern fluid-rock interactions.

“We need to understand processes taking place on small scales to better understand processes taking place on global scales.”



The continents are largely composed of ancient mountain belts that are made up of rocks which are now exposed at the Earth's surface. These rocks incompletely record key processes within the Earth. Such processes take place in the deeper parts of the Earth's crust and in the uppermost mantle - also known as the lithosphere - that forms the outer 100 kilometres of our solid yet dynamic planet. Mineral reactions and phase transitions within the lithosphere, involving deformation and fluid or melt flow, are responsible for volcanic eruptions, earthquakes and mountain building. Recrystallisation and phase transformations that occur with changing pressure and temperature in rocks within the lithosphere are referred to as metamorphism. Metamorphism reflects the style and intensity of global plate tectonics, i.e. movements of the Earth's lithosphere, which in turn control mountain building processes. Knowledge about the interplay between rock deformation, metamorphism, and fluid or melt flow in the lithosphere is thus key to a better understanding of large-scale dynamic processes in the Earth's interior.

Zooming into the micro-world

"Nature uses only the longest threads to weave her patterns, so each small piece of her fabric reveals the

organization of the entire tapestry.” This quote from famous 20th-century physicist Richard P. Feynman (1918 to 1988) excellently characterises the fact that we need to understand processes taking place on small scales (“the small pieces of the fabric”) to better understand processes taking place on global scales (“the entire tapestry of Nature”).

Petrology, the study of rocks, can be viewed as the materials science of the Earth. Since minerals are solid compounds that make up rocks, and thus most of the Earth, earth scientists must understand the mineral properties of rocks so that they can make reasonable inferences about how these rocks will behave under different conditions. Studying rock microstructures is therefore a cornerstone in the field of earth sciences. Microstructural data provide important insights into how the lithosphere could have evolved, within seconds and across million-year timescales. Data obtained from rock microstructures serve as important

input for geodynamic models, which simulate the large-scale behaviour of the Earth.

In the last 100 years, work on mineral reactions and microstructures in rocks has focused on inverse and forward chemical modelling of processes related to chemical gradients, which are believed to control mass transfer in rocks. Significant advances have also been made in the development of analytical techniques. Recently, high-resolution analytical devices, predominantly developed in materials science, have become more available to earth scientists. Using these techniques, we can reveal the three-dimensional size, shape and distribution of microstructural features of rocks down to the nanometre scale. Interestingly, the smaller the scale considered, the more heterogeneous an apparently uniform rock sample turns out to be. This heterogeneity is not only characterised by variation in chemical composition but also in mechanical properties. This needs to be accounted for.

“Studying rock microstructures is a cornerstone in the field of earth sciences.”

“Petrology, the study of rocks, can be viewed as the materials science of the Earth.”

When rocks and fluids interact

Fractures or zones of fractures between two blocks of rock are preferred pathways for fluids in the Earth's interior. The physical and chemical interactions between fluid flow and structures in the surrounding solid material strongly influence the mechanical behaviour of the whole system at different space and timescales. The fluid flow in the Earth's interior tends to be localised in space and time. Permeability, a measure of the ability of a material to transmit fluids, changes dynamically. Dynamic permeability changes may be caused by a coupled interaction of fluid flow with deformation, or a reaction of the solid material, or a combination of both processes. These coupled flow-deformation-reaction processes may be critically important for understanding processes such as the formation of fracture planes and the transport of heat and matter. Deformation and reactions may enhance or inhibit each other, because fractures allow reactive fluids to reach previously inaccessible volumes of rock. Chemical reactions may also affect mechanical rock properties and strengthen or weaken the rock. However, the effect of fluid flow on the long-term mechanical behaviour of rocks is still unexplored in models that simulate processes inside the Earth.

Even though they are among the key processes that occur in the Earth's interior, fluid-rock interactions belong to one of the most difficult processes to simulate because the hydraulic properties during initiation of rock fracturing can vary by orders of magnitude. Such extensive changes in hydraulic properties result in a locally rapid flow, where the fluid immediately reacts with its surroundings, which can affect the fluid's composition. This transition from a closed to an open thermodynamic system typically occurs in response to geodynamic processes such as earthquakes, dehydration or melting of rocks.

Microstructural changes including mineral reactions and deformation need to be considered in any computer simulations of processes inside the Earth. In past years, the



PROF. DR LUCIE TAJČMANOVÁ is a professor at the Institute of Earth Sciences of Heidelberg University and head of the “Mineralogical & Petrological Processes” research group. She implements multidisciplinary approaches to investigate a wide spectrum of coupled chemo-mechanical processes in rocks, including field-based studies, experiments, and numerical modelling. Her aim is to establish a new perspective on the above-mentioned processes and to provide new quantitative and physically-based tools for interpreting common structures and microstructures in rocks. Lucie Tajčmanová is the recipient of several prestigious research awards, including a fellowship from the Alexander von Humboldt Foundation, a Marie Skłodowska-Curie Postdoctoral Fellowship from the European Union, and an ERC Starting Grant from the European Research Council.

Contact: lucie.tajcmanova@geow.uni-heidelberg.de

increased use of computer models has added significantly to our understanding of complex processes related to fluid-rock interactions. Mechanical models of fracture nucleation and growth require very high numerical resolution to capture the fracture localising process, and must also be computationally fast to handle the wide range of timescales associated with the underlying thermodynamics, chemistry, and fluid flow. Nevertheless, when computer models are not tested against natural or experimental data, they have limited predictive power.

Experiments as a window to the Earth's interior

Unfortunately, we cannot go deep enough into the Earth's interior to study these processes directly and we mostly rely on obtaining the appropriate observations from rocks now exposed at the Earth's surface. However, we can also simulate the extreme conditions of the Earth's interior via laboratory experiments by compressing and heating very small samples. Such experiments provide important insights into the conditions at which mineral reactions take place, and shine a light on mechanisms controlling localised deformation, which is comparable to deformation in the deep Earth. Experimental exploration is a dynamically evolving field, where the aim is to constantly improve experimental set-ups to better characterise complex geological processes. Therefore, it is not surprising that experiments also play an essential role in understanding fluid-rock interactions and processes.

For example, new experimental set-ups are needed to systematically investigate the effects related to the expansion and compression of supercritical fluids in contact with minerals. Appropriately designed experiments can then simulate how the quick expansion and compaction of fluids during rupture processes under high pressure affect the dissolution and precipitation of minerals under controlled conditions. Will the mineral growth and dissolution be an order of magnitude faster than commonly expected? This is the fundamental question for such experimental tests. If the process of mineral precipitation were much faster than

ZUM TANGO GEHÖREN IMMER ZWEI

DIE WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN GESTEIN UND FLUIDEN IM ERDINNEREN

LUCIE TAJČMANOVÁ

Inwiefern werden die Vorgänge im Inneren der Erde von Materialeigenschaften beeinflusst? Das ist eine der wichtigsten Fragestellungen für die Geowissenschaften im 21. Jahrhundert. Um die Abläufe im Erdinneren zu verstehen, benötigen Wissenschaftler:innen eine qualitative Beschreibung aller wichtigen Beobachtungen sowie eine quantitative Einschätzung der physikalischen Prozesse über alle räumlichen und zeitlichen Skalen hinweg – von Kilometern bis Nanometern, von Jahr-millionen bis Sekunden. Dieses multidisziplinäre Forschungsfeld umfasst die Thermodynamik und Mechanik sowohl fester als auch fluidgesättigter Medien ebenso wie Analysetechniken aus der Materialwissenschaft und Computersimulationen.

Der heutige Aufbau des Erdinneren lässt sich mithilfe diverser geophysikalischer Bildgebungsmethoden darstellen. Gleichzeitig gewähren auch Beobachtungen von Mikrostrukturen im Gestein wichtige Einblicke in die mögliche Entwicklung der Erde. Gerade die Untersuchung dieser Mikrostrukturen liefert unmittelbare und grundlegende Informationen über die Geschichte und die Zeitskalen geologischer Prozesse, etwa die Entstehung von Erdbeben, die Auffaltung von Gebirgen, globale Kreisläufe flüchtiger Komponenten und die planetare Entwicklung. Auch für die kurz- und langfristige Vorhersage von Vulkanausbrüchen sind diese Daten unerlässlich.

Die physikalisch-chemischen Prozesse, die den Wechselwirkungen zwischen Fluiden und Gestein zugrunde liegen, spielen meist die wichtigste Rolle bei den genannten Naturphänomenen. Das quantitative Wissen zu diesen Wechselwirkungen findet zunehmend nicht nur in der Grundlagenforschung Anwendung, sondern auch im Bereich des Geoengineerings, etwa bei Fragen zur Nutzung geothermischer Energie, zur Speicherung von Wasserstoff und CO₂ oder zur Entsorgung radioaktiver Abfälle. Folglich ist das Verständnis komplexer Fluid-Gestein-Prozesse im Mikroskalenbereich auch wesentlich für Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. ●

PROF. DR. LUCIE TAJČMANOVÁ ist Professorin am Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg und leitet dort die Forschungsgruppe „Mineralogical & Petrological Processes“. Sie nutzt multidisziplinäre Ansätze, darunter feldbasierte Studien, Experimente und numerische Modellierungen, für die Erforschung eines breiten Spektrums an chemisch-mechanisch gekoppelten Vorgängen in Gestein. Mit ihrer Arbeit möchte sie eine neue Sicht auf diese Vorgänge ermöglichen und neue quantitative und physikalische Werkzeuge zur Interpretation gängiger Strukturen und Mikrostrukturen in Gestein entwickeln. Lucie Tajčmanová wurde mit mehreren renommierten Forschungspreisen ausgezeichnet, so etwa mit einem Stipendium der Alexander von Humboldt-Stiftung, einem Marie-Sklodowska-Curie-Postgraduiertenstipendium der Europäischen Union und einem ERC Starting Grant des Europäischen Forschungsrates.

Kontakt: lucie.tajcmanova@geow.uni-heidelberg.de

**„Die Petrologie
oder Gesteinskunde ist
gewissermaßen die
Materialwissenschaft
der Erde.“**

expected, this would have important consequences for our understanding of seismic events because the process would consequently alter the short-term mechanical properties of the rock and their evolution.

So far, deformation experiments at ambient conditions, i.e. conditions that are relevant for seismic events, have been carried out at low deformation speeds in the millimetre per day range and commonly in fluid-deficient environments. Experimentally investigating the mechanisms that occur during quick mineral dissolution and precipitation processes, i.e. processes which occur at speeds of less than one second, can improve mitigation measures for seismic hazards by complementing the existing physical framework used for quantification of rupture processes. More specifically, it may allow us to break seismological processes down into physically more elementary softening and weakening cycles, related to processes of mineral formation and dissolution that are faster by orders of magnitude.

Societal relevance

Fundamental research on microstructures involving fluid-rock interactions is essential in order to make better predictions for sustainable geo-engineering development because the lack in our understanding of such processes could have far reaching environmental, societal and economic consequences.

Fluid-flow-induced deformation and reactions need to be quantified to overcome problems in a wide range of indus-

trial operations – such as CO₂ sequestration or hydrocarbon exploration – and ensure safe long-term storage of gaseous or liquid waste. In fact, research in this direction can also contribute to better predictions of geothermal experiments. An example of an unsuccessful geothermal drilling experiment occurred in the city of Staufen im Breisgau in the state of Baden-Württemberg in 2007. The geothermal drilling to extract the earth's heat crossed a geological formation below the city that is composed of anhydrite (anhydrous calcium sulfate). The associated addition of water to anhydrite led to swelling of the underground due to the solid volume increase during the anhydrite reaction to gypsum, which is calcium sulfate containing water in its structure. The volume increase of up to 60 percent caused considerable uplift and, as a consequence, damage to the entire town. Besides the uplift due to the swelling processes, future problems, related to the fact that the gypsum is dissolving due to the continuous ground-water contact, may arise. This can lead to the development of sinkholes and other karst-related phenomena. The damage mitigation costs for such a failure have been enormous, including the priceless damage to the historical heritage of the town.

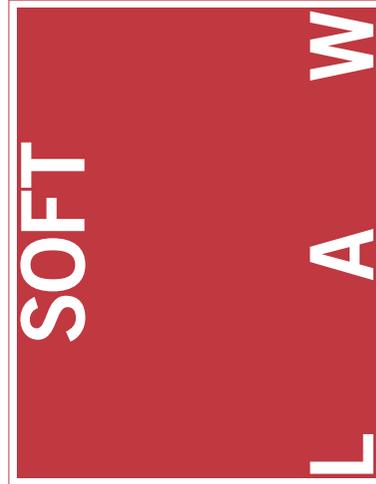
The research related to dissolution-precipitation processes conducted by my group with the help of new experiments involving instantaneous decompression may bring insights into similar effects in commonly used engineering materials, such as ceramics. This may lead to the development of innovative manufacturing techniques. ●

“Data obtained from rock microstructures serve as important input for geodynamic models, which simulate the large-scale behaviour of the Earth.”



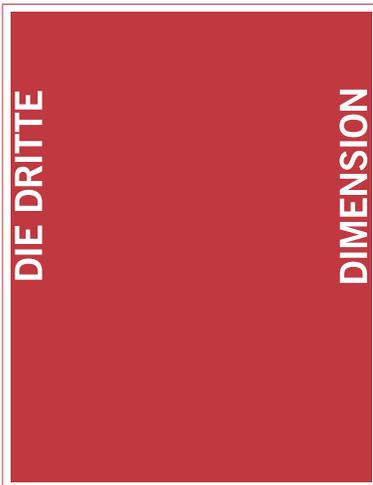
POLITIKWISSENSCHAFT
HERZSTÜCK
KOMPROMISSE IN DER POLITIK
ALEJANDRO ECKER

42



VÖLKERRECHT
SOFT LAW
BINDUNG OHNE FESSELN?
FRUZSINA MOLNÁR-GÁBOR

52



POLITISCHE ÖKOLOGIE
DIE DRITTE DIMENSION
SUCHE NACH DEM HARTEN KERN
DER NACHHALTIGKEIT
ROSA LEHMANN

60



WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFT
REICHER ALS GEDACHT
INDIVIDUELLE EINSCHÄTZUNGEN
UND GLOBALE KONSEQUENZEN
DIETMAR FEHR

70

KAPITEL



HERZZSTÜCK

HERZSTÜCK

KOMPROMISSE IN DER POLITIK

ALEJANDRO ECKER

Hart bleiben oder nachgeben? Diese Frage stellt sich Politiker:innen jeder repräsentativen Demokratie beim Aushandeln politischer Inhalte. Zum Herzstück demokratischer Politik wird somit der Kompromiss als Interessenausgleich und Bereitschaft zum gemeinsamen Handeln. Die Suche nach Kompromissen beginnt in den Koalitionsverhandlungen, bei denen sich die Beteiligten, die trotz teilweise gegensätzlicher Positionen gemeinsam regieren wollen, in einem permanenten Spannungsfeld bewegen: Sie müssen politische Paketlösungen erarbeiten und gleichzeitig dafür sorgen, dass die Anliegen und Interessen ihrer Wähler:innen maßgeblich berücksichtigt werden. Doch wie stehen Wähler:innen überhaupt zu politischen Kompromissen?

E

„Es ist besser, nicht zu regieren, als falsch zu regieren“ – mit diesen mittlerweile geflügelten Worten schließt der FDP-Vorsitzende Christian Lindner am späten Abend des 19. November 2017 knapp acht Wochen nach der Bundestagswahl seine Erklärung zu den gescheiterten Sondierungsgesprächen zwischen CDU/CSU, Grünen und FDP. Der Abbruch der Verhandlungen markiert den Schlusspunkt eines harten und intensiven Ringens zwischen diesen vier politischen Parteien um gemeinsame Regierungspositionen, insbesondere in den Bereichen der Energie-, Klima- und Migrationspolitik.

Die Äußerungen Christian Lindners an diesem Abend zeigen exemplarisch das Spannungsfeld, in dem sich Poli-

„Moderne pluralistische Demokratien leben vom Interessenausgleich und der Bereitschaft zum gemeinsamen Handeln der politischen Akteure.“

tiker:innen in repräsentativen Demokratien fortwährend bewegen: Sie müssen Kompromisslinien ausloten und politische Paketlösungen erarbeiten und gleichzeitig dafür Sorge tragen, dass die Anliegen und Interessen ihrer Wähler:innen maßgeblich berücksichtigt werden. „Falsch zu regieren“ heißt demnach, als Partei seine politischen Positionen und Prinzipien um der Regierungsbeteiligung willen aufzugeben. „Nicht zu regieren“ widerspricht allerdings dem Machtstreben der Politiker:innen und schränkt die Möglichkeiten ein, im Sinne der eigenen Wähler:innen politisch Einfluss auszuüben. Vor dem Hintergrund dieses Zielkonflikts stellt sich die Forschungsfrage nach den Erwartungen der Wähler:innen an politische Parteien in solch komplexen Verhandlungssituationen: Unter welchen Umständen präferieren Wähler:innen, dass ihre Partei hart bleibt und auf ihrer Position beharrt, auch wenn dies den Gang in die Opposition bedeutet? Und unter welchen Bedingungen können Parteien nachgeben und durch die Wähler:innen ungestraft politische Zugeständnisse an die Verhandlungspartner machen, mit dem Ziel, in der Regierung politisch Einfluss zu nehmen?

So außergewöhnlich die gescheiterten Sondierungsgespräche im Jahr 2017 im bundesdeutschen Kontext sind, so charakteristisch sind sie für einen globalen Trend der schwierigen und langwierigen Regierungsbildungsprozesse. Ob in Spanien 2019, Israel 2019/2020 oder den Niederlanden 2021, um nur die prägnantesten Beispiele der jüngeren Vergangenheit zu nennen – die Regierungsbildung nimmt zunehmend längere Zeit in Anspruch. Immer häufiger scheitern die Verhandlungen zwischen politischen Repräsentant:innen aufgrund der zunehmenden Fragmentierung der Parteiensysteme und resultieren in vorgezogenen Neuwahlen, in der Hoffnung, die politische Blockade überwinden zu können. Angesichts der zunehmenden Polarisierung in den Gesellschaften Europas und Lateinamerikas stellt sich also die Frage, inwiefern langwierige politische Verhandlungen ein weiteres Symptom der Krise repräsentativer Demokratien sind und ob unter diesen erschwerten gesellschaftlichen Bedingungen politische Kompromisse weiterhin möglich sind.

Kompromisse als Herzstück demokratischer Politik

Der Kompromiss ist das Herzstück der Politik in Demokratien. So konstatierte im 18. Jahrhundert der einflussreiche Philosoph und politische Theoretiker Edmund Burke, der auch Mitglied des britischen Unterhauses war: „Alles Regieren, ja jeder menschliche Vorteil und Erfolg, alle Tugenden und jede kluge Handlung beruhen auf Kompromiss und Austausch.“ Moderne pluralistische Demokratien leben demnach vom Interessenausgleich und der Bereitschaft zum gemeinsamen Handeln der politischen Akteure. Dieser Ausgleich ist in Demokratien institutionell fest verankert: in den parlamentarischen Demokratien Europas durch die Notwendigkeit, stabile Mehrparteien-

regierungen zu bilden, da in den meisten Fällen keine Partei über eine alleinige Regierungsmehrheit verfügt; in den präsidentiellen Regierungssystemen Lateinamerikas aufgrund der Tatsache, dass sich die Präsidentin oder der Präsident in der überwiegenden Anzahl der Fälle einer parlamentarischen Mehrheit der Oppositionsparteien gegenübersteht und auf deren Unterstützung bei der Verabschiedung von Gesetzen und der Umsetzung ihrer politischen Ziele angewiesen ist. Effektives Regierungshandeln setzt also in verschiedenen institutionellen Kontexten immer die Fähigkeit und die Bereitschaft voraus, politische Kompromisse einzugehen.

Der Begriff des Kompromisses sowie das zugrunde liegende Konzept sind im allgemeinen Sprachgebrauch jedoch unterschiedlich konnotiert. Im angelsächsischen Sprachraum ist ein Kompromiss ein zumeist positiv besetztes Phänomen. Diese positive Konnotation gründet auf der allgemeinen Wahrnehmung des Kompromisses als einer Lösung einer problematischen Situation zum gemeinsamen Gewinn und

Heidelberg Center for Ibero-American Studies

Das Heidelberg Center for Ibero-American Studies (HCIAS) ist eine 2019 gegründete zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Universität Heidelberg an der Schnittstelle zwischen Geistes-, Sozial- und Verhaltenswissenschaften. Es beschäftigt sich mit interdisziplinären Fragen, die die Makroregion Ibero-Amerika betreffen – Lateinamerika und die Iberische Halbinsel sowie die damit historisch oder sozioökonomisch verbundenen Regionen. Damit ergänzt das HCIAS die institutionellen regionalen Schwerpunkte Südasien, Ostasien und Nordamerika und trägt zur Profilschärfung der Area Studies an der Universität Heidelberg bei. Geleitet wird das HCIAS von dem spanischen Sprachwissenschaftler Prof. Dr. Francisco Moreno-Fernández, der 2019 mit einer Humboldt-Professur an die Universität Heidelberg wechselte.

Die Forschungsaktivität des HCIAS richtet sich auf das globale Thema „Räume und Dynamiken“, das den Rahmen definiert, in dem sich die Forschung den sozialen, kulturellen und umweltbedingten Realitäten Lateinamerikas mit all ihren inneren und äußeren Entwicklungen, Transformationen und Verflechtungen nähert. Innerhalb dieses Rahmens entsteht ein ganzheitliches Netz aus Perspektiven, das sich in drei allgemeine Bereiche gliedert: Soziale Transformationen und soziale Kohäsion, Globalisierung und Mobilität des kulturellen und natürlichen Erbes sowie gesellschaftliche und kulturelle Kommunikation.

www.uni-heidelberg.de/hcias/de.html

„Wähler:innen haben keine grundsätzliche Präferenz für Paketlösungen gegenüber dem Kompromiss im klassischen Sinne.“

impliziert oftmals auch eine vertragliche Übereinkunft im gegenseitigen Einvernehmen. In Kontinentaleuropa hingegen ist die gesellschaftliche Wahrnehmung des Kompromisses insbesondere durch die Französische Revolution und das Konzept des Gemeinwohls geprägt. Ein Kompromiss ist immer auch ein Zugeständnis – „compromission“ im Französischen –, das das Gemeinwohl gefährdet und mit der Preisgabe der eigenen Prinzipien und der unteilbaren Interessen der Bürger:innen einhergeht.

Diese Ambivalenz im Sprachgebrauch und in der gesellschaftlichen Wahrnehmung von Kompromisslösungen spiegelt sich auch im Spannungsfeld der Handlungsoptionen individueller Politiker:innen und Parteien im Anschluss an Wahlen wider. Im Idealtyp des „Responsible Party Governments“ erwarten Wähler:innen von ihren Repräsentant:innen, dass sie ihre Interessen durchsetzen, und lehnen den sprichwörtlich „faulen Kompromiss“ ab. Die Positionen, die politische Parteien im Wahlkampf auf Grundlage ihres Wahlprogramms kommunizieren, sollen auch nach den Wahlen die oberste Handlungsmaxime sein. Gleichzeitig erwarten die Bürger:innen die rasche und geräuschlose Bildung einer neuen Regierung, die im Gegensatz zur geschäftsführenden Regierung über ein politisches Mandat und einen gesellschaftlichen Gestaltungsauftrag verfügt. Um eine stabile Regierung zu bilden, stehen die Politiker:innen nun also vor der Herausforderung, auf der Grundlage der oftmals gegensätzlichen Parteipositionen in den verschiedenen Politikbereichen möglichst schnell ein kohärentes Regierungsprogramm herauszuarbeiten. Hierbei sind politische Kompromisslösungen ein unabdingbares Instrument, um die Verhandlungen zu einem positiven Ende zu führen. Wie Politiker:innen diesen Zielkonflikt

auflösen und dieser widersprüchlichen Erwartungshaltung entgegenzutreten, hängt im Wesentlichen von der gesellschaftlichen Akzeptanz politischer Kompromisse durch die Wähler:innen ab.

Kompromissfindung, Parteibindung und Sympathie

Dieses Argument, das die Akzeptanz politischer Kompromisse durch die Wähler:innen in den Mittelpunkt rückt, habe ich gemeinsam mit Kolleg:innen aus Wien und Berlin im Kooperationsprojekt „Political Parties, Representation and Government Formation“ auf Grundlage der folgenden drei Faktoren überprüft. Der erste Faktor ist die Art des politischen Kompromisses. Grundsätzlich können wir mindestens zwei Arten der Kompromissfindung bei Verhandlungen zwischen politischen Parteien unterscheiden: zum einen die klassische Kompromisslösung, in der jede der beteiligten Verhandlungsparteien von ihrer Idealposition in einer bestimmten politischen Streitfrage abrückt und sich der Position der jeweils anderen annähert; Beispiele hierfür sind Fragen der Steuergesetzgebung, in der sich eine (stimmgewichtete) mittlere Kompromissposition einfach ermitteln lässt. Zum anderen die Paketlösung – auch „log-roll“ genannt –, in der mehrere politische Streitfragen gebündelt werden und jede involvierte Partei ihre Idealvorstellungen in einem bestimmten Politikbereich durchsetzen kann. Solche Paketlösungen sind auch für die Wähler:innen attraktiv, insbesondere dann, wenn ihre Partei sich in einem für sie besonders relevanten Politikfeld durchsetzen kann und im Gegenzug Positionen in einem oder mehreren unbedeutenden Politikfeldern räumen muss.

Ein zweites Merkmal auf Ebene der individuellen Wähler:innen ist ihre Parteibindung und die Nähe zu einer

bestimmten politischen Partei. Zwar beobachten wir generell eine Abnahme der Parteibindungen unter den Wähler:innen und ein zunehmend volatiles Wahlverhalten, insbesondere in den jungen Demokratien Lateinamerikas. Allerdings verfügen viele Wähler:innen auch weiterhin über eine ausgeprägte Parteidentifikation, also eine langfristig stabile und – in diesem Kontext besonders relevant – affektive Bindung an eine bestimmte politische Partei. Diese gefühlsbetonte psychologische Nähe zu einer politischen Partei führt zu einer erhöhten Identifikation mit deren Ideen, Grundvorstellungen und Positionen, was wiederum eine geringere Akzeptanz politischer Kompromisse zur Folge haben sollte.

Ein drittes Charakteristikum ist die Sympathie der Wähler:innen für die politische(n) Partei(en) auf der anderen Seite des Verhandlungstisches. Wähler:innen haben oftmals nicht nur eine enge Bindung an eine bestimmte politische Partei, sondern hegen auch affektive Abneigungen

gegenüber anderen Parteien. Dies kann auf deren Politikpositionen beruhen, die man auf inhaltlicher Ebene ablehnt. Zumeist resultiert diese Ablehnung aus der Antipathie gegenüber dem politischen Personal und führt dazu, dass Wähler:innen ihre eigenen politischen Meinungen vornehmlich über die Opposition zu anderen Parteien definieren. Kompromisse mit politischen Parteien, für die die eigenen Anhänger:innen geringe Sympathien hegen, sollten demnach ebenfalls auf Ablehnung stoßen.

Methodologische Herausforderungen

Die empirische Analyse dieser Einflussfaktoren im Kontext politischer Verhandlungssituationen stellt uns dabei vor eine Reihe von methodologischen Herausforderungen. Zunächst einmal finden politische Verhandlungen maßgeblich hinter verschlossenen Türen statt. Sofern also vor Abschluss der Verhandlungen Informationen zu den Wähler:innen dringen, ist dies fast immer den strategischen Interessen der beteiligten Akteure zuzuschreiben

„Paketlösungen scheinen immer noch zumindest teilweise den Anschein des sprichwörtlichen Kuhhandels zu haben und das Bild von intransparenten Hinterzimmer-Absprachen zu befeuern.“

„Die affektive Ablehnung anderer Parteien und die daraus resultierende Polarisierung in der Wähler:innenschaft verhindert politische Kompromisslösungen.“

und erlaubt somit keine unvoreingenommene Einschätzung des Verhandlungsstandes. Verhandlungen zwischen politischen Parteien sind darüber hinaus ein komplexes Unterfangen. Auf mehreren Arbeitsebenen verhandeln die Parteivertreter:innen parallel über eine Vielzahl politischer Streitfragen. Für Wähler:innen ist es in diesem Kontext durchaus rational, diese Komplexität zu reduzieren und sich auf die Aspekte zu fokussieren, die für sie besonders relevant sind. Schließlich haben wir als Forscher:innen natürlich keinen Einfluss auf den Ausgang politischer Verhandlungen. Dies ist insbesondere dann problematisch, wenn wir kausale Aussagen zur Akzeptanz politischer Verhandlungslösungen generieren wollen.

Gleichzeitig sind wir daran interessiert, politische Verhandlungen möglichst „in freier Wildbahn“ zu beobachten, um belastbare und generalisierbare Erkenntnisse über die Akzeptanz politischer Kompromisse durch die Wähler:innen zu gewinnen. Aus diesem Grund führen wir eine Reihe von experimentellen Studien im Kontext realer politischer Verhandlungssituationen in Europa und Ibero-Amerika durch. Dabei konfrontieren wir Proband:innen mit hypothetischen, aber realistischen alternativen Verhandlungsergebnissen, die durch verschiedene Eigenschaften gekennzeichnet sind, und fragen anschließend nach der Akzeptanz des gezeigten Ergebnisses. So wird

beispielsweise einem Teil der Proband:innen die Einigung zwischen Parteien zu mehreren politischen Streitfragen als Kompromiss präsentiert, während ein anderer Teil der Proband:innen bei gleicher Parteienzusammensetzung und den exakt gleichen Streitfragen eine Paketlösung vorgeschlagen bekommt. Damit können wir zum einen die Komplexität reduzieren und gleichzeitig auf die tatsächlich relevanten politischen Streitfragen und die real involvierten politischen Parteiakteure zurückgreifen, um glaubwürdige alternative Verhandlungsszenarien zu entwerfen.

Mangelnde Identifikation und Politikverdrossenheit

Die deskriptiven Ergebnisse zeigen ungeachtet etwaiger Länderunterschiede, dass Wähler:innen ein gewisses Grundverständnis für politische Verhandlungslösungen aufbringen. Auf einer Elf-Punkte-Skala (Werte von 0 bis 10), die angibt, wie zufrieden sie mit dem gezeigten Ergebnis der Verhandlungen sind, geben die Proband:innen im Mittel eine 6 an. Besonders interessant an diesem Ergebnis im Hinblick auf die Funktionsweise unserer repräsentativen Demokratien ist, dass die Proband:innen eine hohe Toleranz für Verhandlungsergebnisse aufbringen, die sie nicht vollends zufriedenstellen. Anschließend gefragt, ob sie also dieselbe Partei wiederwählen würden, zeigt sich nur bei Wähler:innen, die sehr unzufrieden mit dem Verhandlungsergebnis sind – drei oder weniger Punkte auf der



JUNIORPROF. DR. ALEJANDRO ECKER ist seit 2021 Juniorprofessor für „Politics and Communication in Ibero-America“ am Heidelberg Center for Ibero-American Studies (HCIAS) der Universität Heidelberg. Nach dem Studium der Politikwissenschaft und der Wirtschaftswissenschaften an der Universität Mannheim und der Johns Hopkins University in Baltimore (USA) und der Promotion an der Universität Wien (Österreich) war er am Mannheim Centre for European Social Research (MZES) Projektleiter eines Forschungsprojekts zu innerparteilichen Prozessen und Mehrparteien-Regierungen. Alejandro Eckers Forschungsschwerpunkte sind Demokratie, Parteien und Repräsentation, politische Institutionen sowie politische Einstellungen und Verhalten in vergleichender Perspektive.

Kontakt: alejandro.ecker@uni-heidelberg.de

LINCHPIN

COMPROMISES IN POLITICS

ALEJANDRO ECKER

Compromise is at the core of democratic politics. Modern pluralistic democracies thrive on the bargaining of interests and the willingness of political actors to cooperate. In Europe's parliamentary democracies, this is institutionalised in political parties that need to form ruling coalitions, as no party controls a majority of the seats most of the time. In the presidential regimes of Latin America and their institutionalised system of checks and balances, the president usually faces a parliamentary majority of opposition parties and depends on their support for passing laws. Effective government in various institutional contexts is thus contingent on the ability and willingness to make political compromises.

In this context, politicians face a common trade-off. They have to take into account the interests and concerns of their constituents, while at the same time exploring lines of compromise and working out political package deals. How politicians resolve this trade-off, i.e. to what extent they are able to compromise their positions for the sake of participating in government and to what extent they need to stand firm to their principles, depends on the acceptance of political compromises by voters.

Our group investigates under which circumstances voters are willing to accept political compromise via a series of experimental studies in Europe and Ibero-America. With regard to the type of political compromise, we observe that voters are largely indifferent towards a compromise in the narrow sense in which political parties agree on some middle ground, or a logroll where parties exchange their preferred positions across policy areas. Concerning party identification, we find that strong ties to a political party have a substantive negative effect on voters' willingness to compromise. Finally, negative partisanship, i.e. the affective dislike of other political parties at the bargaining table, likewise reduces voters' inclination to accept political compromise. ●

JUNIOR PROF. DR ALEJANDRO ECKER joined the Heidelberg Center for Ibero-American Studies (HCIAS) of Heidelberg University in 2021, when he accepted the chair of “Politics and Communication in Ibero-America”. He studied political science and economics at the University of Mannheim and at Johns Hopkins University in Baltimore (USA) and obtained his PhD from the University of Vienna (Austria). He then headed a research project on intraparty processes and multiparty governments at the Mannheim Centre for European Social Research (MZES). Alejandro Ecker's research interests are democracy, political parties and representation, political institutions, and political attitudes and behaviour from a comparative perspective.

Contact: alejandro.ecker@uni-heidelberg.de

“Effective government in various institutional contexts is contingent on the ability and willingness to make political compromises.”

„Aus der Perspektive der Wähler:innen ist das Hartbleiben und Nichtregieren dem Nachgeben und Falschregieren vorzuziehen.“

Zufriedenheitsskala – eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass diese Wähler:innen zu einer anderen Partei abwandern.

Die weiteren Ergebnisse zeigen, dass Wähler:innen keine grundsätzliche Präferenz für Paketlösungen gegenüber dem Kompromiss im klassischen Sinne haben. Vor die Wahl gestellt, ob ihre Partei bei jedem Streitthema eine inhaltliche Einigung anstreben oder sich auf die Durchsetzung ihrer Positionen in einigen ausgewählten Themenfeldern konzentrieren soll, sind die Wähler:innen indifferent. Entgegen der These eines möglichen Effizienzgewinns durch die klare Zuteilung von Politikbereichen scheinen Paketlösungen also immer noch zumindest teilweise den Anschein des sprichwörtlichen Kuhhandels zu haben und das Bild von intransparenten Hinterzimmer-Absprachen zu befeuern.

Während Wähler:innen also nicht generell Paketlösungen den Vorzug geben, gibt es dennoch verschiedene Szenarien, in denen eine solche Einigung eine Win-win-Situation für die Wähler:innen aller beteiligten Parteien sein kann. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die Wähler:innen komplementäre Präferenzprofile haben und jeweils großen Wert auf unterschiedliche Politikfelder legen. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass die gesellschaftliche Polarisierung mit der Entstehung segmentierter Themen-Öffentlichkeiten einhergeht, in denen auf einige wenige Themen Wert gelegt wird, scheinen Paketlösungen demnach ein probates Mittel, um auch in solch schwierigen Kontexten für Wähler:innen akzeptable Verhandlungslösungen zu erzielen.

Problematischer für die Voraussetzungen funktionierender repräsentativer Demokratien sind die Erkenntnisse in Bezug auf die Parteibindung der Wähler:innen und deren affektive Abneigung gegenüber anderen Parteien. Tatsächlich ist eine geringere Parteibindung der Kompromissfindung zunächst einmal förderlich: Wähler:innen ohne Bindung und Nähe zu einer politischen Partei sind gegenüber politischen Kompromisslösungen generell aufgeschlossener. Allerdings liegt diese Kompromissbereitschaft nicht an der grundsätzlichen Überzeugung der Notwendigkeit politischer Kompromisse in pluralistischen Gesellschaften, sondern scheint auf die mangelnde Identifikation mit den Zielen der Partei und eine allgemein höhere Politikverdrossenheit zurückzuführen zu sein. Schließlich verhindert die affektive Ablehnung anderer Parteien und die daraus resultierende Polarisierung in der Wähler:innenschaft politische Kompromisslösungen. Ganz unabhängig vom inhaltlichen Kern der Kompromisslösung, das heißt der Kompromissposition im Verhältnis zur Position der Wähler:in, lehnen Wähler:innen politische Kompromisse mit anderen Parteien, denen sie in Antipathie verbunden sind, ab. Aus der Perspektive der Wähler:innen ist also das Hartbleiben und Nichtregieren dem Nachgeben und Falschregieren vorzuziehen. ●

SOFT

L

A

W

SOFT LAW

BINDUNG OHNE FESSELN?

FRUZZINA MOLNÁR-GÁBOR

Die Rechtswissenschaft kennt auf internationaler Ebene den Begriff des „Soft Law“, unter dem im Allgemeinen unverbindliche Normen verstanden werden, die sich beispielsweise in Erklärungen und Empfehlungen niederschlagen. Die Definition und die Eigenschaften von Soft Law sowie seine Bindungswirkung sind umstritten, die Bindungswirkung wird in der Regel von derjenigen des „harten“, einklagbaren Rechts unterschieden. Beispiele für das Konzept des Soft Law, nach dem dieses durchaus rechtliche Wirkungen entfalten kann, sind auf internationaler Ebene die Resolutionen der Generalversammlung der Vereinten Nationen. Eine wichtige Rolle spielt das „weiche Recht“ bei der Entwicklung von internationalen Lösungen für biomedizinische Fragen.

D

Die Rechtswissenschaft kennt im internationalen Bereich den Begriff des „Soft Law“: Darunter fällt eine Vielzahl von nicht bindenden, normativ formulierten Instrumenten, die in den internationalen Beziehungen von Staaten und internationalen Organisationen eingesetzt werden. Dieser Umriss der Definition deutet bereits an, warum der Umgang mit internationalem Soft Law, von seiner Daseinsberechtigung über seine Entwicklung bis hin zu seinen Typen und Wirkungen, ein kontroverses Thema darstellt.

Internationales Soft Law als Bezeichnung wird zunächst vom etablierten Kanon der völkerrechtlichen Rechtsquellen nach Art. 38 Abs. 1 des Statuts des Internationalen Gerichtshofes abgegrenzt, ihm wird daher die verbindliche Rechtskraft abgesprochen. Zu dieser „Restkategorie“ werden demnach vor allem Entschlüsse, Empfehlungen und Beschlüsse internationaler Organisationen wie die Resolutionen der Generalversammlung der Vereinten Nationen gezählt – ein prominentes Beispiel ist die Allgemeine

Erklärung der Menschenrechte. Soft-Law-Bestimmungen sehen zwar demnach auf den ersten Blick wie rechtliche Verpflichtungen aus; sie sollten allerdings keine rechtsverbindlichen, sondern vielmehr bloß mahnende und anspornende Vorgaben darstellen und können als abstrakt-generelle Verhaltensregeln im weitesten Sinne bezeichnet werden. Auf dieser Grundlage wird ihnen häufig auch die Bezeichnung als Recht abgesprochen.

Faktische Bindungskraft und rechtliche Wirkung

Abgegrenzt vom Recht, das unter Beachtung der formellen und materiellen Anforderungen in seine konkrete Form gegossen wird, wird im Schrifttum das Verhältnis von Soft Law zu außerrechtlichen Normen wie beispielsweise gesellschaftlichen Normen untersucht. In seiner außerrechtlichen Eigenschaft soll es internationale Instrumente bezeichnen, die Grundsätze erwarteten Verhaltens von Akteuren wiedergeben oder Aussagen über die Standards für solches Verhalten treffen. Verstanden als eine Bündelung informeller Normen sollte Soft Law damit im internationalen Bereich auch eine Funktion des strukturellen Ausgleichs übernehmen. Die Bedeutung von Soft Law wird damit überwiegend in einer faktischen Bindungskraft gesehen, die in ein enges Verhältnis zur außerrechtlichen Bindungskraft gesetzt wird.

Soft Law kann zugleich aber auch rechtliche Wirkungen entfalten: Zum einen kann es die Auslegung von überkommenen Rechtsquellen wie Verträgen leiten; des Weiteren kann es die Entstehung von Gewohnheitsrecht belegen und zu Pflichten nach Treu und Glauben führen. Daneben kann Soft Law auch der Weiterentwicklung des Völkerrechts dienen: Es kann oft eine praktische Hilfestellung beim Konsensfinden sein und darüber hinaus eine Grundlage für die spätere Entwicklung rechtsverbindlicher Normen bieten. Die Verletzung von Soft Law führt zwar nicht zu den gleichen rechtlichen Konsequenzen wie Verstöße gegen (verbindliches) Völkerrecht, aber auch „hartes“ Recht kann mit nur „weichen“ Streitbeilegungsverfahren oder „weichen“ Sanktionen kombiniert werden. Umgekehrt kann Soft Law, auch wenn es vom einklagbaren und durchsetzbaren Recht qualitativ unterschieden wird, in der Argumentation von Gerichten eine Rolle spielen. Es kann äußerst nuanciert und in der Sprache sehr verbindlich ausformuliert sein. Diese Eigenschaften bieten die Grundlage für Konzepte, in denen seine Verwobenheit mit den traditionellen Quellen des Völkerrechts eine hervorgehobene Rolle spielt.

Die kontrovers diskutierte Frage, ob die Verzahnung mit dem Rechtlichen mehr als nur eine Verwobenheit ist und Soft Law eine eigenständigere Position entwickeln kann, lenkt zugleich die Aufmerksamkeit auf Unsicherheiten, die einen Status aus der rechtlichen Perspektive betreffen: Wenn Soft Law keine hohen Schwellen für die formale Zustimmung erfüllen muss, könnte Konsens durch Effek-

„Soft-Law-Bestimmungen sollten keine rechtsverbindlichen, sondern vielmehr bloß mahnende und anspornende Vorgaben darstellen.“

**„Auch ‚hartes‘ Recht
kann mit nur ‚weichen‘
Streitbeilegungs-
verfahren oder ‚weichen‘
Sanktionen
kombiniert werden.“**

tivität als normativer Maßstab ersetzt werden? Müssten verfahrensrechtliche Schwellen für die Etablierung von Soft Law definiert werden, und wenn ja, welche? Besteht die Gefahr einer Aufweichung rechtsverbindlicher Regeln durch Soft Law und seine Wirkung? Zum Teil führt die Diskussion dieser Fragen dazu, dass die Vorteile von Soft Law als Nachteile herausgestellt werden und seine Positionierung wieder strenger in Relation zu den etablierten Völkerrechtsquellen gesetzt wird. Obwohl die Bezeichnung „Soft Law“ oft als Unwort verpönt ist, scheint sie doch zutreffend zu sein, wenn man die Mischung aus einer Verneinung der Eigenschaften des Rechts, der Verzahnung mit dem Recht in der Wirkung, aber auch der Anerkennung einer gewissen Eigenständigkeit, die im Oxymoron des Begriffs mitschwingt, betrachtet.

Jedenfalls hat Soft Law eine nur mit rigorosem Systematisierungswillen erfassbare Menge an unterschiedlichen Positionen zu seiner Bewertung in den Rechtswissenschaften hervorgebracht, die zwangsläufig mit eigenen Konzeptionen des (Völker-)Rechts arbeiten (müssen) und sich dadurch umso schwerer einordnen lassen. Zugleich hat die Beschäftigung mit dem Phänomen Soft Law wichtige Impulse für die rechtswissenschaftliche Forschung hervorgebracht, unter anderem zur Normativität, zur Legitimität, zu Fragen der Interpretation, darunter auch Fragen rechtslinguistischer Natur, zum internationalen öffentlichen Recht und zur internationalen öffentlichen Gewalt, aber auch generell zum Konzept des Rechts. Die Darstellung dieser Impulse würde allerdings den Rahmen dieses Beitrags sprengen.

Soft Law bei biomedizinischen Fragen

Welche Rolle spielt Soft Law beim internationalen Umgang mit biomedizinischen Fragestellungen? Im Rahmen dieses besonderen Regelungskontextes lassen sich wesentliche Merkmale von Soft Law darlegen, die bisher noch nicht angesprochen wurden. Aufgrund seines Potenzials, rechtliche Wirkung zu entfalten, kommt Soft Law beim internationalen Umgang mit biomedizinischen Fragen und neuen Technologien im Gesundheitsbereich eine spezifische Rolle zu, die als eine Vermittlerposition zwischen dem Technischen, Ethischen und Rechtlichen beschrieben wird. Bei der Etablierung von Standards im biomedizinischen Bereich spielen internationale Organisationen eine signifikante Rolle. Die Instrumente der Standardsetzung wie Konventionen oder Erklärungen variieren in ihrer rechtlichen und faktischen Wirkung, die Mehrheit besitzt aber zunächst nur einen deklaratorischen, also erklärenden Charakter.

Hervorzuheben sind die drei UNESCO-Deklarationen im Bereich der Bioethik, die als Vorreiter des biomedizinischen Soft Law auf internationaler Ebene gelten: die Allgemeine Erklärung über das menschliche Genom und Menschenrechte (1997), die Internationale Erklärung über

menschliche genetische Daten (2003) und die Allgemeine Erklärung über Bioethik und Menschenrechte (2005). Sie stellen internationale Mindeststandards dar und verkörpern einen Aufruf an die internationale Gemeinschaft, ethische Kontroversen in Bezug auf das menschliche Genom, genetische Daten und die Bioethik im Allgemeinen im Rahmen der Menschenrechte auszutragen. Für ihre Umsetzung befürworten die Deklarationen legislative Maßnahmen der Mitgliedstaaten. Die Entwicklung dieser drei Deklarationen geht auf den Fachausschuss des Internationalen Bioethikkomitees (International Bioethics Committee) der UNESCO zurück.

Ein weiteres Beispiel für Soft Law im Bereich der Gesundheitstechnologien stellen die Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zur Humangenomeditierung dar. Die WHO hat einen globalen, multidisziplinären Sachverständigenausschuss (Expert Advisory Committee on Developing Global Standards for Governance and Oversight of Human Genome Editing) ins Leben gerufen, um die wissenschaftlichen, ethischen, sozialen und rechtlichen Herausforderungen im Zusammenhang mit verschiedenen Arten der Humangenomeditierung zu untersuchen. Die Empfehlungen dieses Ausschusses berühren institutionelle, nationale, regionale und globale Vorgaben für verschiedene Bereiche, darunter die internationale Zusammenarbeit für eine wirksame Steuerung und Aufsicht der Technologieanwendung, die Einführung von Registern für die Dokumentation von Anwendungen sowie die internationale Forschung.

Das dritte Beispiel sind die Maßnahmen der WHO zur Pandemiebekämpfung. Dazu gehört auch das Pandemic Influenza Preparedness Framework (PIP), das rechtlich nicht verbindlich ist, aber durch die Etablierung sogenannter Standard Material Transfer Agreements die Möglichkeit eröffnet, die Beziehung zwischen der WHO und einem Hersteller von Influenzaprodukten oder einer Forschungseinrichtung oder einer anderen Einrichtung auf vertragliche Grundlagen zu stellen. Als Gegenleistung für den Zugang zu biologischem Material von WHO-Laboratorien verpflichten sich diese Einrichtungen, der WHO Leistungen zu erbringen, die zur Vorbereitung auf eine Influenzapandemie oder bei der Reaktion darauf genutzt werden können, beispielsweise Technologielizenzen oder Impfstoffe. Als Konsequenz der COVID-19-Pandemie werden in der rechtswissenschaftlichen Literatur die Chancen diskutiert, die weitere Soft-Law-Instrumente der WHO, aber auch ein völkerrechtlicher Vertrag für die Vermeidung und eine bessere globale Reaktion auf Pandemien im Allgemeinen bieten würden, sowie konkrete Vorschläge für die Entwicklung von neuen Übereinkommen und Instrumenten dargelegt.

Flexiblere Regelung und höhere Ausdifferenzierung
Trotz wachsender Flexibilität bei der Rechtsetzung durch völkerrechtliche Verträge bleibt es wegen der rasanten

naturwissenschaftlichen Entwicklung fragwürdig, ob Verträge geeignet sind, biomedizinischen Fragestellungen zu begegnen, denn ihre Gestaltung bleibt trotz allem ein zeitaufwendiger Prozess. Völkerrechtliche Verträge gelten zudem häufig nicht allgemein, was jedoch für die Steuerung und Standardisierung des Verhaltens bei ethisch konnotierten Fragestellungen wichtig ist. Zudem können ihre Vorgaben durch Vorbehalte aufgeweicht werden. Dagegen verspricht das Soft Law – trotz all seiner Limitationen – eine flexiblere und schneller zum Konsens führende Regelung, die zugleich eine höhere Ausdifferenzierung von Vorgaben erlaubt. Ihr Reiz liegt gerade in der weichen Bindungskraft, welche ohne die Fessel klarer Verpflichtungen eine bessere Fokussierung auf den jeweiligen Sachverhalt erlaubt. Die Etablierung und Weiterentwicklung von Standards im Bereich der Biomedizin und der Gesundheitstechnologien ist damit auf internationaler Ebene zunächst auf rechtlich unverbindliche Handlungsformen angewiesen.

Inwieweit die Instrumente tatsächlich das Verhalten der Adressaten beeinflussen, kann dabei zunächst unterschiedlich ausfallen. Im Gesundheitsbereich kann dieser Einfluss erhöht werden, indem man angemessen ethische Prinzipien einbindet, die das Handeln zunächst außerhalb des Bereichs des Rechts leiten und rechtfertigen. Weil während des Gestaltungsprozesses regelmäßig medizin-ethischer Sachverstand eingebunden wird, zeichnen sich diese Soft-Law-Instrumente in ihrer Entwicklung durch eine solche Verhaltenssteuerung aus, was zur Anerkennungswürdigkeit des betroffenen Instruments wesentlich beitragen kann. Zugleich ist die Einbindung ethischer Prinzipien Gegenstand weiterer Analysen über das Verhältnis von ethisch fundierten und rechtlichen Vorgaben.

Die Einbindung ethischer Normen erfolgt vorwiegend durch die unmittelbare Aufnahme von ethischen Prinzipien in die Dokumente. Die in den Deklarationen festgehaltenen Grundsätze als solche sind eine Mischung aus Aussagen über ethische Prinzipien und aus Statements zur Bekräftigung von Menschenrechten. Grundsätzlich werden drei große Kategorien solcher Grundsätze unterschieden: Neben Deklarationen über ethische Prinzipien, die diese Prinzipien wiedergeben und bekräftigen, sowie präskriptiven, verhaltenssteuernden Erklärungen, die bereichsspezifische Vorgaben ausformulieren, gibt es sogenannte „artikulierende Normen“, die eine Brücke zwischen präskriptiven Verhaltensvorgaben und den Menschenrechten schlagen; wodurch die bereichsspezifischen Regeln mit den Menschenrechten verbunden werden. Diese Kategorie deklaratorischer Statements ist kennzeichnend für bioethisch konnotierte Soft-Law-Instrumente und unterscheidet sie von Deklarationen auf anderen Gebieten. Ihre Ausdifferenzierung verdeutlicht die Mühe, die bioethischen Erklärungen eng mit dem Völkerrecht zu verbinden, und

SOFT LAW

BINDING WITHOUT SHACKLES?

FRUZSINA MOLNÁR-GÁBOR

The term “international soft law” refers to abstract, general rules of conduct that cannot be assigned to any formal source of law and are not legally binding. Soft law fulfils a variety of functions; it may, for instance, be consulted for interpretation purposes or serve to prepare a legally binding norm. The question of whether soft law interlinks with binding law only in terms of its “preparatory” function or whether it can take on a more independent role, is the object of some controversy. Moreover, by defining standards of conduct that are expected to be observed, it develops an extralegal binding force.

When it comes to addressing biomedical issues, soft law fulfils an important role as intermediary between technology, ethics and law. The rapid progress of new technologies contrasts with the lengthy process of drafting an international treaty. The practical binding effect of soft law can be further increased by the integration of ethical principles. Furthermore, technical specifications and standards that are defined by experts involved in the development of soft law instruments are frequently themselves integrated into these instruments. The UNESCO declarations in the field of bioethics represent international minimum standards and are considered as forerunners of soft law at the international level. The WHO has also set up a global, multinational expert committee whose recommendations for the international governance of human genome editing can be classified as soft law. WHO soft-law provisions also accompany the international fight against the COVID-19 pandemic.

The importance of international soft law in the field of biomedicine gives rise to research questions regarding the interlocking of extralegal behaviour guidance and legal provisions, as well as the interactions with the integration of ethical standards, that – given the legal effect of soft law – raise further issues about legal certainty in the international handling of new health technologies. ●

PROF. DR FRUzsINA MOLNÁR-GÁBOR accepted the Chair of “International Health and Medical Law and Data Protection Law” at Heidelberg University’s Faculty of Law in early 2022. She studied law in Heidelberg and at Eötvös Loránd University in Budapest (Hungary), then worked as a PhD student at the Max Planck Institute for Comparative Public Law and International Law in Heidelberg. In 2015 she obtained her doctorate from the Faculty of Law with a thesis on the international governance of biotechnology using the example of novel genetic analyses. She is a member of the Akademie-Kolleg of the Heidelberg Academy of Sciences and Humanities, where she headed a work group and conducted research on European data protection and data exchange in medical research and health care. In January 2022, Fruzsina Molnár-Gábor was the only member from Germany to be appointed to the European Group on Ethics in Science and New Technologies (EGE), which advises the European Commission on ethical, societal and fundamental rights issues resulting from scientific and technological innovations.

Contact: fruzsina.molnar-gabor@uni-heidelberg.de

“Even ‘hard’ law can be combined with only ‘soft’ dispute settlement procedures or ‘soft’ sanctions.”



PROF. DR. FRUZZSINA MOLNÁR-GÁBOR hat Anfang 2022 die Professur „Internationales Gesundheits- und Medizinrecht sowie Datenschutzrecht“ an der Juristischen Fakultät der Universität Heidelberg übernommen. Nach ihrem Jurastudium in Heidelberg und an der Eötvös-Loránd-Universität Budapest (Ungarn) war sie als Doktorandin am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht in Heidelberg tätig und wurde 2015 mit einer Arbeit zur internationalen Steuerung der Biotechnologie am Beispiel neuer genetischer Analysen an der Juristischen Fakultät promoviert. Als Kollegiatin der Heidelberger Akademie der Wissenschaften leitete sie dort eine Arbeitsgruppe und forschte zum europäischen Datenschutz und Datenaustausch in der medizinischen Forschung und Gesundheitsversorgung. Im Januar 2022 wurde Fruzsina Molnár-Gábor als einziges Mitglied aus Deutschland in den Europäischen Ethikrat berufen, der die Europäische Kommission bei ethischen, gesellschaftlichen und grundrechtlichen Fragestellungen berät, die sich aus wissenschaftlichen und technologischen Innovationen ergeben.

Kontakt: fruzsina.molnar-gabor@uni-heidelberg.de

es zugleich nicht bei der rechtlichen Wirkung der Dokumente allein belassen zu wollen, die in der Verwirklichung und ihren Modalitäten häufig ungewiss bleibt.

Leichtere Änderungsmöglichkeiten

Bei diesen Deklarationen und Empfehlungen ist die Wahl des Soft Law auch mit der Einbindung ethischer und technischer Expertise zu begründen. Soft Law lässt sich leichter ändern oder ersetzen als Verträge, da hierfür, bei einem entsprechenden Dokument, lediglich eine neue Resolution der zuständigen internationalen Organisation erforderlich ist. Da technische Regeln und Standards häufig auf Expertenrat beruhen und immer wieder angepasst werden müssen, um wissenschaftliche Änderungen widerzuspiegeln, ist es wenig sinnvoll, diese Standards in den Text eines Vertrages aufzunehmen und ihre Anpassung dem langwierigen Prozess der Vertragsänderung auszusetzen. Die Einbindung von technischer und ethischer Expertise verlangt allerdings an erster Stelle eine Auseinandersetzung mit Fragen der Input- und Output-Legitimität, womit in groben Zügen die Legitimität der Willensbildungs- und Entscheidungsprozesse sowie ihrer Ergebnisse gemeint ist. Dabei bedarf es einer differenzierten Betrachtung dieser Expertise, die Unterschiedliches vermitteln kann – einerseits die wissenschaftlichen Grundlagen, andererseits verhaltensorientierendes Wissen. Bei dieser Differenzierung wird ein Verständnis von Ethik als reflektiver Darstellung moralischer Überzeugungen, aber auch als kultureller Praxis mitberücksichtigt. Ein solches Verständnis legt umso eindringlicher dar, dass die indirekte Standardisierung ethischer Entscheidungsfindung, bei der Soft Law ebenfalls eine Rolle spielen kann, differenziert betrachtet werden soll; das Potenzial einer

Verrechtlichung wird dabei in der Literatur häufig erkannt, jedoch mit Zurückhaltung bewertet.

Zusammenfassend lässt sich somit sagen: Die Forschung zum Soft Law beschäftigt sich vor allem mit dessen Verzahnung mit dem positiven Völkerrecht im Allgemeinen. Die Diskussion um internationales Soft Law im biomedizinischen Bereich nimmt insbesondere das Verhältnis rechtlicher Bestimmungen zu ethischen Verhaltensregeln und die wechselseitige Generierung und Inkorporierung von ethischen und rechtlichen Maßstäben in den Blick. Dabei geht es um den Einfluss dieser Maßstäbe sowohl auf die moralische Entlastung der Adressaten als auch auf die Rechtssicherheit. Des Weiteren eröffnen sich Forschungsfragen hinsichtlich der deliberativen Entwicklung von Soft-Law-Dokumenten und der Einbindung fachspezifischer Akteure bei deren Entstehung.

Diese Problemstellungen sind wichtig für die Antwort auf die spezifische Frage, wie entstehende Technologien durch ethische und rechtliche Vorgaben erfasst werden können. In meiner Arbeitsgruppe untersuchen wir in diesem Kontext, welche Regelungsmodelle für die Entwicklung und Anwendung innovativ-disruptiver medizinischer Technologien geeignet sind und wie die Technologieentwicklung durch die Wahl verschiedener Regelungstechniken am besten begleitet werden kann. Darüber hinaus wird ein zusätzlicher Forschungsfokus auf die Frage gelegt, welchen Einfluss die technologische Entwicklung auf ihre rechtliche Steuerung ausübt. ●

„Die Beschäftigung mit dem Phänomen Soft Law hat wichtige Impulse für die rechtswissenschaftliche Forschung hervorgebracht.“

DIE DRITTE

DIMENSION

DIE DRITTE DIMENSION

SUCHE NACH DEM HARTEN KERN DER NACHHALTIGKEIT

ROSA LEHMANN

Der ursprünglich aus der Forstwirtschaft stammende Begriff der Nachhaltigkeit fand vor 50 Jahren Eingang in den wissenschaftlichen Diskurs – mittlerweile begegnet er uns in allen möglichen Lebensbereichen und droht zu einer weichgespülten Leerformel zu werden. Nachhaltige Entwicklung beinhaltet eine ökologische, eine ökonomische und eine soziale Dimension, wobei allerdings häufig die soziale Dimension vernachlässigt wird. Der Suche nach dem harten Kern eines Nachhaltigkeitsbegriffs, der alle drei Dimensionen berücksichtigt, widmet sich die Forschung zu Umwelt- und Klimagerechtigkeit am Heidelberg Center for Ibero-American Studies.

D

Der Begriff „Nachhaltigkeit“ beziehungsweise „Sustainability“ hat in den vergangenen Jahrzehnten nicht nur Eingang in Wissenschaft und Politik gefunden, sondern auch in immer mehr Bereiche des Alltags, so dass er mittlerweile quasi überall präsent ist. Keine politische Debatte rund um planetarische Grenzen und Klimawandel, ökonomische Reproduktion und Technologieentwicklung sowie soziale Gerechtigkeit und politische Teilhabe lässt sich vom Begriff der Nachhaltigkeit beziehungsweise der nachhaltigen Entwicklung trennen. Zugleich veröffentlichten Lifestyle-Magazine Anleitungen für einen nachhaltigen Alltag, und Unternehmen verbuchen steigende Imagewerte und einen Wettbewerbsvorteil, wenn sie (vermeintliche) Nachhaltigkeit als Teil ihres Geschäftsmodells anpreisen. Der Begriff droht dabei zu einer weichgespülten Leerformel zu werden, die für alles Mögliche verwendet werden kann – was sein harter Kern ist, bleibt allerdings unklar.

Das gilt auch für die Wissenschaft, in der die Auseinandersetzung mit dem Begriff der Nachhaltigkeit in den 1970er-Jahren begann und die heute verschiedene Modelle und Konzepte der Nachhaltigkeit kennt, aber ohne klare Einigung über eine allgemeingültige Begriffsdefinition diskutiert. Nachhaltigkeit meint zunächst einmal, dass nicht mehr verbraucht werden darf, als vorhanden ist, um die Grundlagen für zukünftige Generationen aufrechtzuerhalten. Der Begriff tauchte erstmals im 18. Jahrhundert im Kontext der deutschen Forstwirtschaft auf: Angesichts einer zunehmenden Nachfrage nach Holz durch Schiffsbau, Handwerk und Heizen beschrieb Hans Carl von Carlowitz in seinem Buch „Sylvicultura Oeconomica“ (1713) die Notwendigkeit einer „nachhaltenden Nutzung“, um das Gleichgewicht zwischen alten und neuen Waldbeständen zu halten. Als das Thema Umweltschutz in den 1970er-Jahren zunehmend größere Aufmerksamkeit erlangte, fand der Nachhaltigkeitsbegriff in diesem Zusammenhang Eingang in den wissenschaftlichen Diskurs.

Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit

Eine wichtige Wegmarke dafür war der 1972 erschienene berühmte Bericht des Club of Rome zu den „Grenzen des Wachstums“, in dem Ökonom:innen um Dennis Meadows der Frage nachgingen, wie menschliche Gesellschaften ihre ökonomische Reproduktion sicherstellen können, ohne ein

ökologisches Desaster zu verantworten. Die Wissenschaftler:innen verknüpften dabei in verschiedenen Szenarien ökonomische, ökologische und soziale Aspekte der Nachhaltigkeit und plädierten für weltweite Maßnahmen, um einen dauerhaften Gleichgewichtszustand zu erreichen. Als Beginn einer solchen internationalen Umweltpolitik gilt der erste Umweltgipfel der Vereinten Nationen, den diese ebenfalls 1972 in Stockholm abhielten. Ab den 1980er-Jahren wurde Nachhaltigkeit zunehmend mit dem Begriff der Entwicklung verbunden, und 1987 definierte der Bericht „Our Common Future“ der Brundtland-Kommission – einer UN-Kommission für Umwelt und Entwicklung, der die ehemalige norwegische Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland vorsah – nachhaltige Entwicklung als „development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“.

Nachhaltige Entwicklung beinhaltet also sowohl Generationengerechtigkeit als auch eine ökologische, eine ökonomische und eine soziale Dimension – das ist das berühmte Nachhaltigkeitsdreieck. Dass allerdings die gleichberechtigte Berücksichtigung aller drei Dimensionen einer Quadratur des Kreises gleichkommen könnte, darauf wiesen kritische Stimmen schon von Anfang an hin. Seitdem ist aber der Widerspruch, Umweltschutz sowohl mit sozialer Gerechtigkeit als auch mit Wirtschaftswachstum zu vereinbaren, weitestgehend ungelöst geblieben. Auch die Debatten rund um die 1992 auf der UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro unterzeichnete Klimarahmenkonvention (UNFCCC), das Kyoto-Protokoll (1997) sowie die Millennium Development Goals (2000) und die Sustainable Development Goals (2015) der Vereinten Nationen konnten weder zur Konkretisierung des Begriffs der Nachhaltigkeit beziehungsweise der meist synonym verwendeten nachhaltigen Entwicklung beitragen noch zu einer Klärung der Frage, wie sich die verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen miteinander in Einklang bringen lassen.

Soziale Dimension als Forschungsfokus

Innerhalb dieser Debatte, in der der Fokus meist vor allem auf der ökonomischen und der ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit liegt, nimmt meine Forschung, die im Feld der Politischen Ökologie verortet ist, verstärkt die soziale Dimension in den Blick. Als Juniorprofessorin für „Innovation and Sustainability in Ibero-America“ am Heidelberg Center for Ibero-American Studies (HCIAS) beschäftige ich mich mit den sozialen und politischen Dimensionen des Übergangs von einer fossilen zu einer ökologisch verträglichen – und damit nachhaltigen – Gesellschaft und Wirtschaft. Nach einer zentralen Annahme der Politischen Ökologie sind Gesellschaft und Umwelt untrennbar miteinander verbunden, weswegen auch technologische Innovationen zur Aneignung von Natur immer in gesellschaftlichen Kontexten stattfinden.

„Nachhaltigkeit meint zunächst einmal, dass nicht mehr verbraucht werden darf, als vorhanden ist, um die Grundlagen für zukünftige Generationen aufrechtzuerhalten.“

Diese sozialen Beziehungen sind durch historisch gewachsene Ungleichheiten entlang von Klasse, Geschlecht, Race/Ethnicity gekennzeichnet und wirken sich darauf aus, wie Akteur:innen Natur beziehungsweise ihre Umwelt interpretieren, ob und wie sie sich Rohstoffe und Land aneignen können, welche Handlungsspielräume und -ressourcen sie gegenüber sich wandelnden Naturverhältnissen – beispielsweise im Zuge des Klimawandels – besitzen oder welches Wissen über Natur Gehör findet. Aus meiner Sicht ist somit die soziale Dimension des sozio-technologischen Wandels entscheidend dafür, wie sich Transitionsprozesse gestalten, wie Politiken formuliert werden und in welcher Form sich Ungleichheiten reproduzieren oder abgebaut werden können. Dies ist wichtig für die Diskussion um Nachhaltigkeitskonzepte, da die Transition hin zu erneuerbaren Energien und der Nutzung von nicht fossilen Rohstoffen mit dem Ziel der Nachhaltigkeit begründet wird.

Somit rücken in meiner Forschung Fragen nach Konflikten, Wertvorstellungen, Wissen und damit verbundenen Machtasymmetrien und Ungleichheiten, die bei dieser Diskussion häufig vernachlässigt werden, in den Vordergrund. Die Bedeutung derartiger sozialwissenschaftlicher Untersuchungen zeigt beispielsweise meine Forschung zur umstrittenen Implementierung von Windturbinen in einer Region im Süden Mexikos, mit der ich mich im Rahmen meiner Dis-

sertation beschäftigt habe. Nachhaltigkeit, vor allem Klimaschutz, ist ein zentrales Begründungselement derer, die für die Errichtung von mehr als zwei Dutzend Mega-Windparks im süd-mexikanischen Isthmus von Tehuantepec sprechen. Will man nun die spezifische Dynamik von Akteur:innen verstehen, die die Implementierung innovativer Technologien zur Erzeugung erneuerbarer Energie in ihrer Umgebung akzeptieren, kritisieren oder sogar ablehnen, ist es zentral, sich mit den strukturellen Ungleichheiten beim Zugang zu Land, den Asymmetrien in politischen Entscheidungsprozessen zwischen Akteursgruppen und den herrschenden gesellschaftlichen Diskursen zu beschäftigen.

Seit dem Bau der ersten größeren Windkraftanlagen Anfang der 2000er-Jahre haben sich in der Region verschiedene Protestbewegungen gegründet. Diese stellen mehrheitlich zwar nicht Windkraft an sich infrage, aber deren Nachhaltigkeit, was sie mit dem fehlenden ökonomischen Nutzen für die Bewohner:innen sowie mit negativen sozialen Aspekten begründen. Dazu gehört die Reproduktion sozialer Konflikte rund um Zugang zu und Kontrolle über Land und um die Frage, wer eigentlich darüber entscheidet, ob und wie viele Windkraftanlagen gebaut werden, in wessen Besitz diese sind und an wen der Gewinn aus dem verkauften Strom geht. Ein zentraler Befund meiner

Forschung ist hier, dass die Berücksichtigung von Wissen und Erfahrungen – etwa mit den Auswirkungen der Anlagen oder den Formen der Landnutzung – sowie die Partizipationsmöglichkeiten ungleich verteilt sind, beispielsweise zwischen Landbesitzenden und Landlosen oder zwischen Angehörigen verschiedener Ethnien.

Eine globale Perspektive

Auch Studien zu jüngeren Politikstrategien wie der Bioökonomie – dem Wechsel von einer erdölbasierten Wirtschaft zu einer Ökonomie auf Basis nachwachsender Rohstoffe – zeigen, dass es sehr unterschiedliche Verständnisse von „grün“ und nachhaltig gibt und dass wirtschaftliche Belange einen höheren Stellenwert haben als ökologische und soziale. Im Zusammenhang mit Bioökonomiepolitik beschäftigen mich ebenfalls Fragen rund um politische Partizipation und Ungleichheiten. Zusammen mit Kolleg:innen der Universität Jena konnte ich beispielsweise zeigen, dass in solchen Strategien das bereits vorhandene Wissen und die Praktiken verschiedener sozialer Gruppen, insbesondere zivilgesellschaftlicher Akteur:innen wie Energiegenossenschaften, kaum anerkannt und integriert werden. Fragen, die sich daraus für die Forschung ergeben, sind folgende: Welche Akteur:innen übernehmen welches Verständnis von Nachhaltigkeit und warum? Inwiefern reproduzieren sich historische Konflikte oder entstehen neue Auseinandersetzungen um die Verteilung von Ressourcen und politischer Partizipation durch Politiken, die mit Nachhaltigkeit beziehungsweise Klimaschutz begründet werden? Wessen Verständnis und Wissen zählt auf der Suche nach nachhaltiger Entwicklung und für eine sozialökologische Transformation?

Um diese komplexen Fragen zu bearbeiten, ist eine globale Perspektive zentral, da unterschiedliche Vorstellungen von Nachhaltigkeit in allen Teilen der Welt zu Konflikten führen, wie auch Diskussionen meiner Forschungsergebnisse mit Kolleg:innen aus Lateinamerika und Südostasien zeigen. Die Implementierung von Naturschutzgebieten, der Bau von Infrastrukturen zur Erzeugung erneuerbarer Energie, aber auch Bioökonomie-Strategien finden in äußerst unterschiedlichen Kontexten statt, in denen sie auch analysiert werden müssen – dazu gehört auch, zu untersuchen, welche Funktion „nachhaltige Entwicklung“ und der Verweis auf Klimawandel zum Beispiel für die Durchsetzung von Naturschutzpolitiken oder Windparks haben. Studien im Bereich der Politischen Ökologie machen beispielsweise darauf aufmerksam, dass Nachhaltigkeitsdiskurse die Vertreibung Indigener aus zu deklarierenden Naturschutzgebieten legitimieren können. Konflikte um die Nutzung von Biodiversität – etwa die Frage, wer Pflanzen und das Wissen, das die indigene Bevölkerung besitzt, nutzen darf – sind ungelöst und könnten im Kontext von Digitalisierung und dem Bedeutungsgewinn der Biotechnologie erneut an Brisanz gewinnen. Forschungen zu Bergbauprojekten und agrarindustriellen Aktivitäten vor allem in Ländern des Globalen Südens

zeigen, dass im Konfliktfall letztlich meist ökonomische Überlegungen Vorrang haben und „Nachhaltigkeit“ als Begriff sowie als grünes Label allenfalls dazu dient, sozial-ökologisch negative Aktivitäten „weichzuspülen“.

Umwelt- und Klimagerechtigkeit als Leitbild

Wie könnten nun die verschiedenen Dimensionen von Nachhaltigkeit tatsächlich erfolgreich zusammengedacht werden – wie lässt sich also ein „harter Kern“ für einen Nachhaltigkeitsbegriff (wieder)finden? Anknüpfungspunkte für die Lösung dieser Frage bietet in meinen Augen die Forschung zu den Konzepten Umwelt- und Klimagerechtigkeit. Denn diese beziehen die zwingend zu berücksichtigenden Ungleichheitsachsen entlang verschiedener Kategorien wie Race/Ethnicity, Gender, Alter oder formale Bildung, aber auch die Machtressourcen sozialer Gruppen aufgrund ihrer Stellung im Produktionsprozess mit ein.

Umweltgerechtigkeit meint die soziale (Ungleich-)Verteilung von beispielsweise gesundheitsrelevanten Umweltbelastungen wie Lärm oder Luftverschmutzung und gesundheitsfördernden Umweltressourcen wie Grünflächen und Parks – häufig sind marginalisierte Gesellschaftsgruppen höheren Umweltbelastungen ausgesetzt als andere. Die Wurzeln dieser Bewegung liegen in Protesten gegen die Ablagerung von Giftmüll in der Nähe von Communities of Color in den USA in den 1980er-Jahren; später übernahmen verschiedene Akteur:innen in Regionen Lateinamerikas, Europas, Südafrikas und Russlands das Konzept für Auseinandersetzungen rund um öffentliche Verkehrsmittel, Stadtplanung oder die Vulnerabilität gegenüber extremen Wetterereignissen. In Lateinamerika verbanden soziale Bewegungen ihre Forderungen nach Umweltgerechtigkeit zunehmend mit historischen Kämpfen um Land und Landrechte und ihrem Protest gegen den Vorstoß von Agrobusiness und Holzindustrie in von Subsistenzlandwirtschaft geprägte Gebiete und Waldregionen.

Klimagerechtigkeit ist als normatives Konzept Teil der Umweltgerechtigkeit und beschäftigt sich unter Berücksichtigung des Verursacherprinzips mit der ungleichen Verteilung der Folgen des Klimawandels. Denn häufig haben – sowohl national als auch global gesehen – diejenigen Bevölkerungsgruppen beziehungsweise Länder, die am wenigsten zum Klimawandel beitragen, am meisten unter dessen Auswirkungen zu leiden. Ein Beispiel für die nationale Ebene: Von Ungleichheiten betroffene soziale Gruppen wie Afro-Americans in den USA sind nicht nur vulnerabler gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels wie zum Beispiel Hitzewellen, sondern sie sind historisch gleichzeitig für weniger Treibhausgase in der Atmosphäre verantwortlich. Daher müssen Politiken zur Eindämmung des Klimawandels so ausgestaltet werden, dass nicht ungleich hohe Kosten auf diese sozialen Gruppen verteilt werden, sondern diese eher davon profitieren.

**„Häufig haben diejenigen
Bevölkerungs-
gruppen und Länder, die
am wenigsten zum
Klimawandel beitragen, am
meisten unter dessen
Auswirkungen zu leiden.“**

Die quantitative Dimension

Auf globaler Ebene wurde Klimagerechtigkeit in der UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) so formuliert, dass die Vertragsparteien das Klimasystem „entsprechend ihren gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten, ihren jeweiligen Fähigkeiten sowie ihrer sozialen und wirtschaftlichen Lage“ schützen sollen. Klimagerechtigkeit hat damit eine quantitative Dimension, denn es geht letztlich um die Frage, welche Länder wie viel CO₂-Emissionen ausstoßen dürfen, bis das sogenannte Carbon Budget oder Kohlenstoffbudget aufgebraucht ist – also die Menge der CO₂-Emissionen aus anthropogenen Quellen, die die Menschheit global noch freisetzen darf, um die Erderwärmung auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen. In den Klimaverhandlungen der UNFCCC-Vertragsstaaten ging es um eine Reduzierung zunächst über die Kohlenstoffmärkte. Dieses Verständnis von Klimagerechtigkeit war Teil des Narrativs derjenigen Länder, die nicht zu den frühindustrialisierten Ländern gehören und die auf die historische Verantwortung der früheren Industrieländer hinwiesen, ihre Emissionen zu reduzieren, während sie selbst für ihre nachholende Industrialisierung ein Emissionsrecht behalten sollten. Vor allem sogenannte Schwellenländer wie die BRICS-Staaten Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika, aber auch andere Länder des Globalen Südens forderten das Recht ein, nicht auf fossile

Brennstoffe als Schmiermittel für Industrialisierung verzichten zu müssen.

Die Forderung nach einer quantitativen Verringerung der Emissionen auf nationaler Ebene sagt nichts darüber aus, welche sozialen Gruppen die Anreicherung von schädlichen Klimagasen in der Atmosphäre vor allem seit der Industrialisierung verantworten und welche Gruppen wie stark von Klimawandelfolgen betroffen sind. Studien aus dem Bereich der Wirtschaftswissenschaften sowie der Forschung zu globalen sozialökologischen Ungleichheiten weisen darauf hin, dass global gesehen der Ausstoß von klimaschädlichen Emissionen und damit der Anteil am Aufbrauchen des Carbon Budget zwischen den verschiedenen Einkommensgruppen äußerst ungleich verteilt ist. So zeigte 2020 eine Studie der Entwicklungshilfeorganisation Oxfam, dass die reichsten zehn Prozent der Weltbevölkerung – rund 630 Millionen Menschen – für etwa 52 Prozent der Emissionen verantwortlich waren. Das reichste Prozent, also rund 63 Millionen Menschen, war allein für 15 Prozent verantwortlich und hat bereits bis zu neun Prozent des Carbon Budget aufgebraucht – das ist zweimal so viel wie die ärmsten 50 Prozent, also rund 3,1 Milliarden Menschen. Die Emissionen der globalen Mittelklasse haben parallel zum Anwachsen dieser Einkommensgruppen zugenommen: Diese rund 2,5 Milliarden Menschen waren

**„Im Konfliktfall haben
letztlich meist ökonomische
Überlegungen Vorrang,
und ‚Nachhaltigkeit‘ als grünes
Label dient allenfalls
dazu, sozialökologisch negative
Aktivitäten ‚weichzuspülen‘.“**

THE THIRD DIMENSION

SEARCHING FOR THE HARD CORE OF SUSTAINABILITY

ROSA LEHMANN

Sustainability, a term originally coined in forestry, found its way into scientific discourse 50 years ago. Today, this term is omnipresent in nearly every area of our lives – and in acute danger of becoming a phrase devoid of any meaning. Sustainable development comprises an ecological, an economic and a social dimension, although the latter is frequently neglected. The search for a definition of sustainability that encompasses all three dimensions – i.e., the “hard core” of the term – is one of the topics of environmental and climate justice research at the Heidelberg Center for Ibero-American Studies (HCIAS).

The concept of environmental and climate justice implies a radical redistribution of the costs of climate change and a restructuring process that alleviates the historical inequalities between countries or regions and between social groups. In addition, research shows that in regions of the Global South, but also for certain underprivileged social groups in the Global North, the different dimensions of sustainability cannot be separated from each other. Today, massive investments are being made in sectors and technologies labelled “green”, funding is being offered for research on bio-based materials, biotechnology and the political governance and design of sustainable transition paths, and entire industry sectors are being restructured as part of the energy transition. All of this involves potentially far-reaching societal changes, often designed to ensure economic efficiency and ecological viability.

The question of how these transformations towards greater sustainability can be managed in a socially just way is at the centre of political ecology research at the HCIAS – based on the idea that research into climate and environmental justice, and the consequent redefinition of justice, can be a means of strengthening the social dimension of sustainability vis-à-vis the economic one. This approach would help rebuild the hard core of the term “sustainability”. ●

JUNIOR PROF. DR ROSA LEHMANN joined the Heidelberg Center for Ibero-American Studies (HCIAS) of Heidelberg University in April 2021 as a junior professor of “Innovation and Sustainability in Ibero-America”. She studied anthropology and political science and earned her PhD at the University of Freiburg in 2018 with a thesis on the conflict surrounding wind energy projects in Mexico. From 2016 until her transfer to Heidelberg, she was part of the junior research group “Bioeconomy and Social Injustice”, which is funded by the German Federal Ministry of Education and Research, at the Institute of Sociology of the University of Jena. Rosa Lehmann’s research interests and topics include socio-ecological inequality and conflicts; energy, climate and environmental policy; development research and social movements.

Contact: rosa.lehmann@uni-heidelberg.de

“Sustainable development comprises intergenerational justice as well as an ecological, an economic and a social dimension.”



JUNIORPROF. DR. ROSA LEHMANN forscht und lehrt seit April 2021 als Juniorprofessorin für „Innovation and Sustainability in Ibero-America“ am Heidelberg Center for Ibero-American Studies (HCIAS) der Universität Heidelberg. Nach einem Studium der Ethnologie und der Wissenschaftlichen Politik wurde sie 2018 an der Universität Freiburg mit einer Arbeit zu einem Konflikt um Windkraftprojekte in Mexiko promoviert. Von 2016 bis zu ihrem Wechsel nach Heidelberg arbeitete sie in der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Nachwuchsforschungsgruppe „Bioökonomie und soziale Ungleichheiten“ am Institut für Soziologie der Universität Jena. Zu Rosa Lehmanns Forschungsinteressen und -schwerpunkten gehören sozialökologische Ungleichheiten und Konflikte, Energie-, Klima- und Umweltpolitik, Entwicklungsforschung und Soziale Bewegungen.

Kontakt: rosa.lehmann@uni-heidelberg.de

„Umwelt- und Klimagerechtigkeit impliziert eine radikale Umstrukturierung der Verteilung der Kosten des Klimawandels sowie der historisch gewachsenen globalen Ungleichheiten.“

für 41 Prozent der Emissionen verantwortlich, die ärmere Hälfte der Menschheit war – gleichbleibend seit 1990 – für nur sieben Prozent der kumulativen Emissionen verantwortlich und hat nur vier Prozent des Kohlenstoffbudgets aufgebraucht. Wie die Forschung zu Umweltgerechtigkeit zeigt, ist es aber vor allem dieser einkommensschwächere und ärmere Teil der Weltbevölkerung, der weitaus vulnerabler gegenüber den Folgen des Klimawandels ist.

Radikale Umstrukturierung

Der Begriff der Umwelt- und Klimagerechtigkeit impliziert also eine radikale Umstrukturierung der Verteilung der Kosten des Klimawandels sowie der historisch gewachsenen globalen Ungleichheiten sowohl zwischen Ländern/Regionen als auch zwischen sozialen Gruppen. Zudem zeigt die Forschung zu Umwelt- und Klimagerechtigkeit, dass gerade in Regionen des Globalen Südens, aber auch für von Ungleichheiten betroffene soziale Gruppen im Globalen Norden die Nachhaltigkeitsdimensionen nicht voneinander zu trennen sind. Derzeit werden viele Investitio-

nen in als „grün“ bezeichnete Sektoren und Technologien getätigt, Forschungsgelder zu biobasierten Materialien, zu Biotechnologie und für die politische Steuerung und Gestaltung nachhaltiger Transitionspfade werden ausgeschrieben, ganze Branchen werden im Zuge der Energiewende umstrukturiert. Das alles geht mit potenziell tiefgreifenden gesellschaftlichen Veränderungen einher, die oft auf ökonomische Effizienz und ökologische Tragbarkeit zielen. Der Frage, wie sich diese Transformationen zu mehr Nachhaltigkeit sozial gerecht gestalten lassen, widmet sich meine Forschung am HCIAS – mit dem Ansatz, dass sich die Forschung zu Klima- und Umweltgerechtigkeit und das darauf basierende Gerechtigkeitsverständnis anbieten, um der sozialen Dimension von Nachhaltigkeit gegenüber der ökonomischen ein stärkeres Gewicht zu geben. Damit erhalte der Nachhaltigkeitsbegriff wieder einen härteren Kern. ●

REICHER

ALS

GEDACHT

REICHER ALS GEDACHT

INDIVIDUELLE EINSCHÄTZUNGEN UND GLOBALE KONSEQUENZEN

DIETMAR FEHR

Reichtum und Armut sind relativ – wer beispielsweise in einem reichen Land wie Deutschland zu den Geringverdienenden gehört, kann im weltweiten Vergleich durchaus im oberen Bereich der Einkommensskala liegen. Umgekehrt kommt es auch vor, dass Einkommensmillionäre in Deutschland sich selbst in Verkennung der tatsächlichen Gegebenheiten der oberen Mittelschicht anstatt der globalen Elite zurechnen. Die subjektive Wahrnehmung der eigenen ökonomischen Lage weicht oft von den harten Fakten ab, wie eine Studie unter Federführung der Heidelberger Wirtschaftswissenschaft zeigt. Das kann weitreichende Konsequenzen haben, da diese „weiche“ Wahrnehmung maßgeblich harte politische Einstellungen, wirtschaftspolitische Präferenzen und gesellschaftspolitische Aspekte beeinflusst – beispielsweise die Einstellung zur Umverteilung von Einkommen.

D

„Die 26 reichsten Menschen der Welt besitzen so viel wie die ärmere Hälfte der Weltbevölkerung“ oder „Die zehn reichsten Männer verdoppeln ihr Vermögen während der Pandemie“. Von derartigen Schlagzeilen wird alljährlich der globale Ungleichheitsbericht begleitet, den die Entwicklungshilfeorganisation Oxfam regelmäßig zum World Economic Forum in Davos herausgibt. Auch wenn diese Berichte wissenschaftlich auf tönernen Füßen stehen, so rücken sie die große globale Unwucht in der Verteilung der Vermögen und Einkommen doch in den medialen Blickpunkt. Die weltweite Einkommensungleichheit hatte zwar bis zum Beginn der Corona-Pandemie massiv abgenommen, sie ist aber immer noch deutlich größer als in den ungleichsten Ländern der Welt. Die Masse am oberen Ende der globalen Einkommensverteilung bilden wenig überraschend überwiegend Menschen aus reichen Industrienationen:

„Die Deutschen sind sich nicht wirklich bewusst, wie reich sie aus globaler Sicht sind.“

Beispielsweise zählen rund 80 Prozent der Deutschen zu den 20 Prozent der einkommensreichsten Menschen weltweit.

Als Konsequenz nimmt die Debatte darüber, wie der globale Wohlstand gleicher verteilt werden kann, zunehmend an Fahrt auf. So hat jüngst eine G20-Taskforce einen Vorschlag für ein „global citizen income“ gemacht – eine Art bedingungsloses Grundeinkommen, das unter anderem auch über eine globale Vermögenssteuer finanziert werden soll. Zudem drehen sich viele aktuelle gesellschaftliche und politische Debatten zu Themen wie Klimaschutz, Migration, Handelsbarrieren oder Pandemiebekämpfung auch um die Umverteilung von Ressourcen auf globaler Ebene. Vor allem die Migration von Entwicklungsländern in Industrienationen und die Globalisierung tragen zu einer massiven Verringerung der globalen Einkommensungleichheit bei und führen dementsprechend zu Konflikten um materielle Ressourcen in den reicheren Nationen. Was aber denken eigentlich die Menschen in reichen Ländern über globale Umverteilung? Und wissen sie überhaupt, wie ungleich das Einkommen auf der Welt verteilt ist und an welcher Stelle sie in der nationalen und globalen Einkommensverteilung stehen? Letzteres beeinflusst bekanntlich nicht nur das subjektive Wohlbefinden der meisten Menschen, sondern es kann auch Auswirkungen auf politische Maßnahmen haben.

Aufholbedarf der ökonomischen Forschung

Aus ökonomischer Sicht wissen wir noch viel zu wenig über diese Fragen. Der Grund für den Aufholbedarf der ökonomischen Forschung in dieser Hinsicht ist vielschichtig. Bisher stand vor allem die Forschung zu nationaler Einkommens- und Vermögensungleichheit im Vordergrund – also zur Ungleichheit innerhalb eines Landes. Dieser Fokus ist sicher nicht überraschend, da es auf nationaler Ebene viel mehr Möglichkeiten

gibt, um Einkommen und Ressourcen umzuverteilen und vor allem um Maßnahmen politisch umzusetzen. Das sind Möglichkeiten, die es aus globaler Perspektive (noch) nicht gibt oder die viel Koordinations- und Verhandlungsaufwand bedeuten, wie der langwierige Prozess zur Einführung einer globalen Mindeststeuer für Unternehmen gezeigt hat.

Ein anderer sehr zentraler Grund ist die lange Zeit nicht vorhandene Verfügbarkeit von guten Einkommensdaten vor allem auf globaler Ebene. Idealerweise würde man natürlich auf anonymisierte administrative Daten von Finanzbehörden auf der ganzen Welt zurückgreifen. Solche Daten stehen der Forschung aber nur in wenigen Ländern zur Verfügung, beispielsweise in Skandinavien oder den USA. In anderen, meist weniger entwickelten Ländern erfassen solche Daten nicht die breite Bevölkerung oder es fehlt, wie in Deutschland und anderen OECD-Ländern, schlicht der politische Wille, der Forschung Zugang zu solchen Daten zu gewähren. Daher muss die Forschung hauptsächlich auf repräsentative nationale Befragungsdaten zurückgreifen, die entsprechend mühsam harmonisiert und aufbereitet werden müssen. In den vergangenen zwei Jahrzehnten wurden solche Mikrodatensätze vermehrt verfügbar gemacht, beispielsweise durch die Weltbank oder das LIS Cross-National Data Center (Luxembourg Income Study). Darauf aufbauend war es erstmals möglich, sich ein umfassendes Bild über die globale Verteilung der Einkommen zu machen und zu dokumentieren, wie sich diese über die Zeit entwickelt hat.

Auf dieser Datengrundlage konnten wir daher nun auch zum ersten Mal die Einstellungen zu globaler Umverteilung aus Sicht der Bevölkerung in einer reichen Industrienation – nämlich Deutschland – genauer untersuchen. Die Forschungsarbeit dazu ist aus einer internationalen Kooperation zwischen dem Autor dieses Artikels und

Johanna Mollerstrom (George Mason University in Virginia/USA) sowie Ricardo Perez-Truglia (University of California, Berkeley/USA) entstanden. Sie ist Teil eines größeren Forschungsprojektes zur Wahrnehmung von Ungleichheit, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird.

Schlechte Kenntnis der eigenen Position

Aus Sicht der ökonomischen Theorie ist die Position in der Einkommensverteilung ein entscheidender Faktor, der die Unterstützung für eine Umverteilung beeinflusst. Vereinfacht gesagt profitieren Personen, die relativ gesehen einkommensstärker sind, weniger von einer Umverteilung, weswegen theoretisch davon auszugehen ist, dass sie diese auch weniger befürworten. Mit ein paar Abstrichen lässt sich diese Vorhersage tatsächlich auch in der Realität beobachten: Besserverdienende sind tendenziell eher gegen Steuererhöhungen, ebenso wie konservative beziehungsweise wirtschaftsliberale Parteien, die diese Wählerklientel im Allgemeinen vertreten. Auf den globalen Kontext übertragen würde das bedeuten, dass Maßnahmen zur globalen Umverteilung in Deutschland nicht sehr populär sein dürften, da kaum jemand davon profitieren würde. Nun gibt es aber auch andere Faktoren wie beispielsweise Fairnessüberlegungen oder Solidarität mit ärmeren Menschen, die für eine generell positivere Einstellung der Bevölkerung zu globaler Umverteilung sprechen würden.

Soweit die Theorie, die im Wesentlichen darauf beruht, dass die eigene relative Einkommensposition bekannt ist. Die Frage ist nun, ob das überhaupt der Fall ist beziehungsweise wie genau jemand seine Position einschätzen kann und ob diese Einschätzung tatsächlich eine Rolle für die Einstellung zur globalen Umverteilung spielt. Um das herauszufinden, haben wir über einen Zeitraum von zwei Jahren Befragungen im Sozio-oekonomischen Panel (SOEP) durchgeführt. Das SOEP, eine der renommiertesten Langzeitstudien weltweit, befragt jährlich eine große repräsentative Auswahl von Haushalten in Deutschland zu ihren Lebensumständen und ihrer finanziellen Lage beziehungsweise zu verschiedenen gesellschaftlichen und politischen Themen.

Im ersten Schritt hat uns interessiert, wie die Befragten ihre Position in der Verteilung der Einkommen in Deutschland sowie in der ganzen Welt einschätzen. Da wir die tatsächliche Position über das Bruttoeinkommen der Haushalte und die Daten zur Verteilung der Einkommen in Deutschland und auf der Welt bestimmen können, können wir auch die Genauigkeit der Einschätzungen bestimmen und einordnen. Wie gut sind die Menschen in Deutschland also über ihre Einkommensposition informiert? Die einfache und kurze Antwort lautet: nicht gut. Sowohl im nationalen als auch im globalen Kontext liegen die Einschätzungen ungefähr gleich weit weg von den harten Fakten.



JUNIORPROF. DR. DIETMAR FEHR forscht seit 2017 am Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften (AWI) der Universität Heidelberg zu den Bereichen Verhaltensökonomie, Ungleichheit und Armut. Er wurde in Berlin promoviert und war danach als Postdoktorand am Wissenschaftszentrum für Sozialforschung Berlin tätig. Forschungsaufenthalte führten ihn für mehrere Semester an das Dartmouth College in New Hampshire (USA) und an die University of California, Berkeley (USA). Am AWI leitet Dietmar Fehr ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördertes Forschungsprojekt zu Fairnesseinstellungen und zur Wahrnehmung von ökonomischer Ungleichheit.

Kontakt: dietmar.fehr@awi.uni-heidelberg.de

Schaut man sich allerdings die Daten genauer an, bietet sich ein differenzierteres Bild: Für Deutschland sehen wir, dass ungefähr die gleiche Anzahl der Befragten ihre Position unter- beziehungsweise überschätzt. Das heißt, manche Leute glauben, dass sie reicher seien, als sie tatsächlich sind, andere wiederum halten sich für ärmer, als es tatsächlich der Fall ist. Im Durchschnitt ist die Abweichung von der tatsächlichen Einkommensverteilung nahezu null, da sich das Unter- und Überschätzen die Waage halten. Das Bild ändert sich aber drastisch, wenn man die globalen Einschätzungen betrachtet: Hier beobachten wir eine massive Verschiebung zum Unterschätzen, im Durchschnitt um 15 Prozentpunkte. Das heißt, jemand der tatsächlich in das 80. Perzentil fällt, was bedeutet, dass er oder sie ein höheres Pro-Kopf-Einkommen als 80 Prozent der Weltbevölkerung hat, glaubt, nur im 65. Perzentil zu sein, also zu den 35 Prozent (statt tatsächlich 20 Prozent) der einkommensstärksten Personen weltweit zu gehören. Auffällig ist auch, dass tendenziell einkommensstärkere Personen ihre Position unterschätzen und einkommensschwächere Personen ihre Position überschätzen: Die meisten scheinen sich gerne in der Mitte der Gesellschaft zu sehen. In Summe belegen also unsere Daten, dass die Deutschen sich nicht wirklich bewusst sind, wie reich sie aus globaler Sicht sind.

Der Informationsschock und seine Folgen

Wie relevant sind nun diese Fehleinschätzungen, insbesondere im Hinblick auf Präferenzen für eine Umverteilung? Zunächst einmal sind die Fehleinschätzungen negativ mit den Umverteilungspräferenzen korreliert: Das heißt, wenn man glaubt, weiter oben in der Verteilung zu stehen, präferiert man weniger Umverteilung. Uns interessiert allerdings vor allem, ob dieser Zusammenhang kausal ist, weswegen wir ein Experiment in die Befragung eingebaut haben: Dazu informieren wir zufällig ausgewählte Befragte darüber, wo sie tatsächlich in der nationalen und globalen Einkommensverteilung stehen. Zur Veranschaulichung kann man sich eine Gruppe von Personen vorstellen, die ihre globale Einkommensposition um zehn Prozentpunkte unterschätzt. Einige von ihnen informieren wir dann über ihre tatsächliche Einkommensposition. Wir würden nun erwarten, dass diejenigen Personen, die keine solchen Informationen erhalten haben, ihre Position weiterhin um zehn Prozentpunkte unterschätzen, während die informierten Personen ihre Wahrnehmung entsprechend nach oben korrigieren sollten. Letztere erfahren also einen sogenannten Informationsschock und lernen, dass sie reicher sind als gedacht. Da der Informationsschock von außen kommt und nicht dadurch, dass die Personen beispielsweise selbst nach Informationen gesucht haben, und dieser Schock auch das Einzige ist, was die uninformierten und die informierten Personen voneinander unterscheidet, können wir Unterschiede in den Präferenzen zur Umverteilung zwischen

informierten und uninformierten Personen alleine auf die Variation in den Einschätzungen zur eigenen Einkommensposition zurückführen.

Unsere Ergebnisse zeigen tatsächlich ganz klar, dass die Einschätzungen über die eigene Einkommensposition einen Einfluss auf die Präferenzen zur Umverteilung auf nationaler wie auch auf globaler Ebene haben: Diejenigen, die erfahren, dass sie in der Einkommensverteilung weiter oben als gedacht stehen, reduzieren ihre Unterstützung für Umverteilung. Interessanterweise spielt dabei aber nur die Einschätzung zur nationalen Einkommensposition eine Rolle und nicht die Frage, wo man in der globalen Verteilung steht. Letztendlich zählt also doch nur, wie man

weil die befragten Personen beispielsweise den Fragen zu wenig Aufmerksamkeit widmen, diese nicht verstehen oder einfach kein Interesse am Thema haben – oder ob die Daten eher für eine Persistenz, also für eine Beständigkeit der Fehleinschätzungen sprechen. Um diesen Fragen näher auf den Grund zu gehen, haben wir ein Jahr später den gleichen Personen nochmals die gleichen Fragen gestellt, allerdings ohne ihnen neue Informationen über die Einkommensposition zu geben, die sich durchaus für viele Haushalte von Jahr zu Jahr ändert.

Unsere Ergebnisse der beiden Befragungen liefern eindeutige Belege für die zweite These. Zum einen sind die Fehleinschätzungen sehr stark über die Zeit korreliert,

„Die meisten scheinen sich gerne in der Mitte der Gesellschaft zu sehen.“

relativ zu seinen nächsten Vergleichspersonen steht. Zudem sehen wir auch eine starke politische Polarisierung, die ein überraschendes Ergebnis nach sich zieht: Dass die Einschätzung der nationalen Einkommensposition die Präferenzen für nationale und globale Umverteilung beeinflusst, konnten wir ausschließlich bei Menschen beobachten, die politisch eher links stehen. Personen, die im politischen Spektrum in der Mitte beziehungsweise eher rechts stehen, reagieren dagegen gar nicht auf die Information; für sie spielt also die Einkommensposition keine Rolle – wahrscheinlich auch deshalb, weil sie grundsätzlich weniger zugänglich für Umverteilungsthemen sind.

Nun kann man sich fragen, ob die Fehleinschätzungen und deren Implikationen nur ein Artefakt der Befragung sind –

wie die Antworten derjenigen zeigen, die bei der ersten Befragung nicht über ihre tatsächliche Position informiert wurden: Diejenigen, die ihre Position im ersten Jahr unter- beziehungsweise überschätzten, machten das in ähnlichem Ausmaß auch im zweiten Jahr. Zum anderen sind die Einschätzungen zur Einkommensposition der Befragten, die im ersten Jahr über ihre Einkommensposition informiert wurden, im Vergleich zu den Uninformierten im zweiten Jahr deutlich genauer. Diesen Effekt können wir im Übrigen auch für andere Befragte aus deren Haushalt beobachten, die im ersten Jahr keine Information bekommen hatten. Das neue Wissen wird also innerhalb der Haushalte geteilt, was darauf hindeutet, dass das Thema hinreichend interessant ist, um darüber zu sprechen und es sich über einen längeren Zeitraum zu merken. Trotz

UNEXPECTEDLY WEALTHY

INDIVIDUAL ESTIMATIONS AND GLOBAL CONSEQUENCES

DIETMAR FEHR

Despite a recent decline in global inequality, income differences between the world's poorest and most affluent citizens are staggering. As a consequence, the debate on how to distribute income more equally at the global level is gaining traction. Many pressing policy issues, even if not discussed expressly as tools for income redistribution, involve significant components of redistribution of resources across countries. Examples of such policy issues include pandemic response, climate change abatement, trade wars and migration. But what do people in rich nations think about global redistribution? And do they actually know how unequal the distribution of income is around the world, or where they stand in the national and global income distribution?

These questions are the focus of a two-year long survey study at Heidelberg University that provides first evidence on the impact of relative income on individual preferences about policies that could help reduce global inequality. To the extent that individuals may misperceive their relative income, those systematic misperceptions may translate into systematic biases in the support for policies addressing global inequality.

In a first step, the project measures individuals' perceptions of their income rank in the national and global income distribution. Individuals have substantial misperceptions about their relative income both at the national and global level: Germans do not realise how rich they are globally, underestimating their relative income on average by 15 percentage points. Second, these misperceptions are persistent over time and they are malleable through information about the true income rank. Third, these misperceptions have implications as they affect policy preferences. Specifically, we observe that individuals who realise that they are richer than they thought at the national level reduce their support for both national and global redistribution. However, this only applies to individuals on the left-of-centre in the political spectrum. ●

JUNIOR PROF. DR DIETMAR FEHR joined Heidelberg University's Alfred Weber Institute for Economics (AWI) in 2017, specialising in behavioural economics, inequality and poverty. He earned his PhD in Berlin and worked as a postdoctoral fellow at the Berlin Social Science Center. He spent several semesters doing research at Dartmouth College in New Hampshire (USA) and at the University of California, Berkeley (USA). At the AWI, Dietmar Fehr heads a research project on fairness attitudes and the perception of economic inequality that is funded by the German Research Foundation (DFG).

Contact: dietmar.fehr@awi.uni-heidelberg.de

“Support for redistribution at the national and global level decreases significantly once people realise that they are richer than they thought.”

der Persistenz der Einschätzungen sind die Auswirkungen der Information über die tatsächliche Position auf die Umverteilungspräferenzen nicht mehr so groß und auch statistisch nicht signifikant unterschiedlich, was aber wenig überraschend ist: Denn zum einen führt die in der ersten Befragung gegebene Information nicht zu einer vollständigen Anpassung der Einschätzungen an die tatsächliche Position, und zum anderen wurde die Information zwischen den Befragungen, wie bereits erwähnt, innerhalb der Haushalte vielfach geteilt, so dass ein Vergleich der ursprünglichen Gruppe der Informierten mit der Gruppe der Uninformierten verzerrt ist.

Sinkende Zustimmung zu Umverteilung

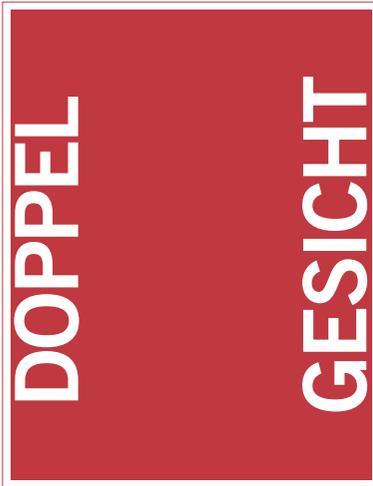
Die Ergebnisse unserer Untersuchung zeigen also: Deutsche unterschätzen ihr relatives Einkommen auf globaler Ebene. Das mag vielleicht für viele nicht so überraschend sein, da die globale Einkommensposition sicherlich schwieriger einzuschätzen ist als die Position im deutschen Kontext. Man hätte allerdings auch genauso davon ausgehen können, dass die korrekte Einordnung leichter fällt, da bei der globalen Verteilung des Einkommens im Fall einer reichen Industrienation mehr oder weniger die gesamte Bevölkerung ziemlich weit oben liegt und daher der Raum für Fehleinschätzungen entsprechend kleiner ist. Zur Erinnerung: Faktisch trifft auf rund 80 Prozent der deutschen Bevölkerung zu, dass sie zu den 20 Prozent der einkommensreichsten Menschen weltweit gehören. Zudem zeigen

unsere Daten auch, dass die Einschätzungen auf nationaler und globaler Ebene absolut gesehen gleich ungenau sind.

Die bedeutendere Einsicht ist aber, dass diese Fehleinschätzungen persistent sind und auch Auswirkungen darauf haben, wie man zur Umverteilung steht. Die Zustimmung zur Umverteilung auf nationaler wie auch globaler Ebene sinkt beträchtlich, wenn man erkennt, dass man reicher ist als gedacht. Menschen in einem reichen Land wie Deutschland scheinen also noch nicht bereit zu sein, das Einkommen zugunsten der Menschen in armen Ländern umzuverteilen. Das trifft insbesondere auf Personen zu, von denen man aufgrund ihrer politischen Einstellung grundsätzlich mehr Zuspruch für Umverteilungsmaßnahmen erwarten würde.

Da direkte Wege zur globalen Umverteilung von Einkommen – beispielsweise durch eine weltweite Steuer auf Vermögen oder Finanztransaktionen – in nächster Zukunft kaum realisierbar sein werden, kommt unter anderem der Einwanderungs- und Klimapolitik eine besondere Rolle zu. Aber auch Maßnahmen in diesem Zusammenhang beinhalten im Endeffekt indirekt einen Transfer – nicht nur von Menschen in reichen Ländern zu Menschen in armen Ländern, sondern auch innerhalb der reichen Länder von Reichen zu Armen. Unsere Ergebnisse deuten aber darauf hin, dass solche Maßnahmen alleine schon aus materiellen Gründen wenig Unterstützung bekommen würden. ●

„Die Zustimmung zur Umverteilung auf nationaler wie auch globaler Ebene sinkt beträchtlich, wenn man erkennt, dass man reicher ist als gedacht.“



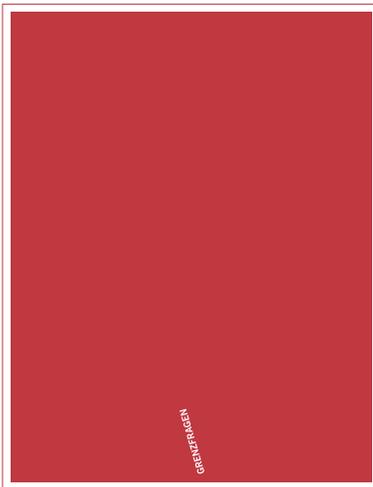
ENTWICKLUNGSPHYSIOLOGIE
DOPPELGESICHT
HARTE SCHALE, WEICHER KERN
THOMAS GREB

80



LITERATURWISSENSCHAFT
MORALISCHE LANDKARTEN
LITERATUR IM WECHSEL DER BEWERTUNGSHORIZONTE
GÜNTER LEYPOLDT

88



ARCHITEKTURGESCHICHTE
GRENZFRAGEN
STADTARCHITEKTUR ALS PROZESS
BRIGITTE SÖLCH

96



PSYCHOLOGIE
IN STEIN GEMEISSELT?
PERSÖNLICHKEITSENTWICKLUNG IM ERWACHSENENALTER
CORNELIA WRZUS

104

KAPITEL



DOPPEL

GESICHT

DOPPELGESICHT

HARTE SCHALE, WEICHER KERN

THOMAS GREB

Unnachgiebig und starr erscheint der Stamm eines Baumes. Und doch wächst er, langsam aber stetig. Dazu verhilft ihm eine dünne Gewebeschicht unter der Rinde – das Kambium. Dieses enthält Stammzellen mit einer verblüffenden Doppelfunktion: Nach innen produzieren sie hartes Holz, nach außen weichen Bast.

B

Bäume sind gemacht, um zu bleiben – bei vielen Arten zumindest für einige Jahrhunderte. Sie sind ein Symbol für Dauerhaftigkeit und Stärke schlechthin und produzieren eins der härtesten Materialien, das von Organismen produziert wird: Holz. Trotzdem sind Bäume Wachstumsweltmeister. Von uns meist unbemerkt, akkumulieren sie kontinuierlich Biomasse und verwandeln flüchtige Dinge wie Kohlendioxid und Licht in etwas Dauerhaftes, etwas Festes. Wie geht das? Wie kann es sein, dass eine so stabile Struktur wie ein Baumstamm in der Lage ist, zu wachsen? Wie kann es sein, dass so weiche Strukturen wie Zellen, die das Wachstum offenbar antreiben, etwas so Hartes wie Holz produzieren?

Das Geheimnis der Bäume

Das Geheimnis liegt im „Kambium“ verborgen, einer dünnen Zellschicht gleich unter der Rinde. Wenn sich Zellen des Kambiums teilen, produzieren sie nach innen

„Wie kann etwas so Fragiles wie eine Zelle so etwas Festes wie einen Baumstamm wachsen lassen?“

harte Holzzellen und nach außen weiche Bastzellen. Ein faszinierendes System – an das man viele Fragen stellen muss: Gibt es separate Zellen für die Herstellung von Holz und Bast? Und wenn ja: Wie kommunizieren die Zellen miteinander, um die Produktion von Holz oder Bast zu steuern? Und vor allem: Wie untersucht man das? Wir können Bäume schließlich nicht unter das Mikroskop legen und dem Kambium bei seiner Arbeit zuschauen.

Es gibt eine Alternative, und sie trägt den klangvollen wissenschaftlichen Namen „*Arabidopsis thaliana*“ – die berühmte Laborpflanze, umgangssprachlich Ackerschmalwand genannt, die trotz ihrer unscheinbaren Gestalt seit Jahrzehnten der Star pflanzenwissenschaftlicher Forschung ist. In aller Welt konnten Forscherinnen und Forscher in ihren Laboren dank der Mithilfe des kleinen Krautes ein enzyklopädisches Wissen über das Leben der Pflanzen erarbeiten – und dabei eine immense Kollektion von Untersuchungsmethoden und -werkzeugen entwickeln. Doch kann die Modellpflanze – kaum größer als 30 Zentimeter und mit einer maximalen Lebenszeit von nur acht Wochen – auch dabei helfen, das Leben der Bäume und den Prozess der Holzbildung zu untersuchen? Zumal das lange Leben und die Produktion von Holz gemeinhin den Bäumen, nicht gerade den Kräutern, zugeschrieben wird? Die Antwort darauf gleich vorweg: Ja, sie kann.

Der Nachweis, dass die Ackerschmalwand auch ein Modell für das Wachstum von Bäumen und die Holzbildung sein kann, war ein wichtiger Meilenstein unserer Forschungsarbeiten im Centre for Organismal Studies (COS) der Universität Heidelberg. Unser Pflanzenmodellsystem ist gleichsam ein Baum im Miniaturformat, mit dem wir untersuchen können, wie das Kambium organisiert ist und welche Zellen der Ursprung von Holz und Bast sind. Dazu nutzen wir die molekularbiologischen Werkzeuge, die mit und dank der Ackerschmalwand entwickelt werden konnten: Wir markieren beispielsweise einzelne Zellen mit fluoreszierenden, also leuchtenden Molekülen. Diese werden während der Teilung der Zellen auf alle entstehenden Tochterzellen übertragen und machen so den weiteren Lebensweg der Zellen genau nachvollziehbar.

Das überraschende Ergebnis unserer Fluoreszenzuntersuchungen: Es gibt im Kambium keine separaten Zellen für die Produktion von hartem Holz und weichem Bast – einzelne Stammzellen produzieren sowohl Holz- als auch Bastzellen, und zwar durch abwechselnde Teilungen nach innen und nach außen. Das ist eine bemerkenswerte Erkenntnis, misst sie diesem Stammzelltyp doch eine zentrale Bedeutung als Ursprung eines großen Teils der pflanzlichen Biomasse zu. Wenn es um das dauerhafte Fixieren von Kohlendioxid geht, sitzen im Kambium demnach die wichtigsten Stammzellen dieses Planeten.

Die Kambiumstammzellen sind also ganz offensichtlich „zweigesichtig“: Sie produzieren sehr unterschiedliche Gewebe in entgegengesetzte Richtungen – und das, obwohl sie in eine außergewöhnlich rigide Umgebung eingebettet sind. Das führt zur nächsten Frage, die sich stellt: Wie gelingt ihnen das? Auch bei der Beantwortung dieser Frage hilft die Fluoreszenzmarkierung: Sie erlaubt es uns, Stammzellen zu erkennen, die sich teilen, deren Zellkerne zu isolieren und die Gene zu bestimmen, die in ihnen gerade aktiv sind.

Eines dieser aktiven Gene trägt das Namenskürzel WOX4. Es ist nicht allein in der Ackerschmalwand zu finden, sondern auch in anderen Pflanzen, darunter Bäumen, wo es die gleiche Funktion zu haben scheint. Das Gen WOX4 trägt die Bauanleitung für ein Protein, das als „Transkriptionsfaktor“ fungiert: Es bindet an DNA und kontrolliert die Aktivität von Genen. Welche Gene der Kontrolle von WOX4 unterliegen, ist noch unbekannt. Eines aber wissen wir bereits: Schaltet man das WOX4-Gen mit molekularbiologischen Methoden aus, gehen die Stammzellen des Kambiums verloren. Mit anderen Worten: WOX4 und die Gesamtheit der von ihm kontrollierten Gene sind für den Stammzellcharakter der Kambiumzellen entscheidend. Und auch damit endet das Fragen noch nicht: Wie wiederum wird das WOX4-Gen selbst reguliert?

Einflussreiches Pflanzenhormon

Hier kommt „Auxin“, ein Pflanzenhormon, ins Spiel. Auxin reguliert die Aktivität aller Stammzellen im pflanzlichen Körper, auch die der Stammzellen im Kambium. Die Konzentration von Auxin ist in den Kambiumstammzellen und rund um sie herum sehr hoch. Wird die Hormonkonzentration reduziert, kommt die Aktivität der Kambiumstammzellen zum Erliegen – ähnlich wie beim Verlust des WOX4-Gens. Auch dem Pflanzenhormon, zeigen unsere Untersuchungen, kommt dabei eine Doppelrolle zu: Auxin aktiviert WOX4 und damit die Aktivität der Stammzellen – und es reduziert die WOX4-Aktivität beim Übergang zu den Holzzellen, also zu den Zellen, in deren Wand das Stützmaterial Lignin eingelagert wird, was die Zellen verholzen und absterben lässt.

Welche Rolle Auxin einnimmt, entscheiden Transkriptionsfaktoren, einer davon ist „Monopteros“. Unseren Erkenntnissen nach bindet Monopteros an das WOX4-Gen und unterdrückt dessen Aktivität. Das hilft den Stammzellen, Holzzellen zu produzieren. Andere Transkriptionsfaktoren, die Monopteros sehr ähnlich sind, aktivieren WOX4. Wir gehen davon aus, dass die verschiedenen Transkriptionsfaktoren um die Bindung an die regulatorischen Abschnitte des WOX4-Gens konkurrieren und so eine entweder stärkere oder eine eher moderate WOX4-Aktivität bewirken. So könnten die Auxin-Effekte auf die Aktivität des Kambiums auf genetischer Ebene ausbalanciert werden.

Bislang haben wir über die Holzzellen und die Holzbildung gesprochen. Wie aber entstehen die Bastzellen? Zunächst:

„Wenn es um das dauerhafte Fixieren von Kohlendioxid geht, trägt das Kambium der Pflanzen die wichtigsten Stammzellen auf diesem Planeten.“



PROF. DR. THOMAS GREB leitet seit dem Jahr 2015 die Forschungsgruppe „Entwicklungsphysiologie“ am Centre for Organismal Studies (COS) der Universität Heidelberg. Nach einem Biologiestudium an der Universität Köln wurde er 2003 am Max-Planck-Institut für Pflanzenzüchtungsforschung in Köln promoviert. Anschließend forschte er zunächst in Norwich (Großbritannien) am John Innes Centre für molekulare Pflanzenforschung und Mikrobiologie, bevor er 2006 Juniorengruppenleiter am Gregor-Mendel-Institut für Molekulare Pflanzenbiologie in Wien (Österreich) wurde und sich 2012 an der Universität Wien habilitierte. Für seine Forschungsarbeiten hat Thomas Greb neben einer Heisenberg-Professur der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) auch einen Consolidator Grant des Europäischen Forschungsrates (ERC) in Höhe von rund zwei Millionen Euro erhalten, mit dem seine Arbeiten zu den Vorgängen in Zellen und Zellwänden beim Wachstum von Pflanzen gefördert wurden.

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

Was ist Bast überhaupt? Aus Bast wird beispielsweise Flachs gewonnen, daraus entsteht Leinen, das zu Kleidung verarbeitet werden kann. In Bäumen ist Bast das unverholzt bleibende lebende, weiche Gewebe direkt unterhalb der Rinde. Im Bast wird der in den Blättern produzierte Zucker durch den ganzen Pflanzenkörper transportiert. Es handelt sich also um ein äußerst wichtiges Gewebe, das sich in nahezu allen Pflanzenarten findet. Wie sich Bast aber bildet, war bis vor Kurzem noch gänzlich unklar. Unsere Genanalysen erbrachten auch hierzu wertvolle Erkenntnisse: Sie führten uns auf die Spur von SMXL5 – einem Gen, das für uns zum Schlüssel für das Verständnis dafür wurde, wie Pflanzen Bast produzieren.

Um mehr darüber zu erfahren, welcher Aufgabe das SMXL5-Gen nachkommt, haben wir es bei Pflanzen ausgeschaltet. Diese Versuche endeten zunächst mit einer Enttäuschung: Pflanzen, denen SMXL5 fehlt, zeigen keinen Unterschied zu Pflanzen, die das Gen noch besitzen. Als wir aber auch noch SMXL4 inaktivierten – das Schwestergen von SMXL5 –, änderte sich das Bild drastisch: Pflanzen, bei denen beide Gene ausgeschaltet sind, zeigen starke Defekte bei der Bildung von Bastgewebe. Ist darüber hinaus auch noch SMXL3 – ein drittes, sehr ähnliches Gen – inaktiviert, können die Pflanzen überhaupt keinen Bast mehr bilden. Diese Pflanzen sterben kurz nach der Keimung, denn ohne Bastgewebe ist es nicht möglich, alle Zellen des Keimlings mit Zucker zu versorgen. Vor allem Pflanzenorgane wie die Wurzeln, die weit von den Blättern entfernt sind, leiden unter dem Zuckermangel.

Molekulare Feinregulation

Wie erfüllen die SMXL-Gene ihre lebenswichtige Aufgabe? Hier ist unser Kenntnisstand, dass alle drei Gene die Bauanleitungen für drei sehr ähnliche Proteine tragen. Die laut genetischer Anweisung produzierten SMXL-Proteine finden sich in den Kernen von sich entwickelnden Bastzellen. Was aber machen sie dort? Sie ähneln keinem der uns bekannten Transkriptionsfaktoren – dennoch ist für Mitglieder der SMXL-Protein-Familie nachgewiesen worden, dass sie imstande sind, an das Erbmolekül DNA zu binden und die Aktivität von Genen zu beeinflussen. Wir nehmen an, dass sich die SMXL-Proteine mit anderen Proteinen zu größeren Gruppen verbinden. Diese Proteinkomplexe könnten die Struktur des Chromatins – des genetischen Grundmaterials aus DNA und assoziierten Proteinen – in den Zellkernen von heranreifenden Bastzellen beeinflussen und Gene anschalten, die die Eigenschaften der Bastzellen festlegen. Darauf weisen unsere bisherigen Untersuchungen hin: Wenn die SMXL-Gen-Aktivität verloren gegangen ist, ist das Chromatin rund um die Gene, die in Bastzellen üblicherweise aktiv sind, enger gepackt. Das verhindert eventuell, dass Gene, die für die Entwicklung der Bastzellen wichtig sind, angeschaltet werden können. Die endgültige Entschlüsselung der SMXL-Funktion wird uns sicher noch längere Zeit beschäftigen.

„In Bäumen ist Bast das unverholzt bleibende lebende, weiche Gewebe direkt unterhalb der Rinde.“

DOUBLE FACE

TOUGH ON THE OUTSIDE, SOFT ON THE INSIDE

THOMAS GREB

A tree trunk seems inflexible and rigid. And yet it grows, slowly but steadily. It does so with the help of a thin tissue layer under the bark – the cambium. This layer contains stem cells that fulfil an astonishing dual function: on the inside of the layer, they produce hard wood, on its outside, soft bast. Our research group uses cambium-driven radial plant growth and the related formation of wood and bast tissues as a paradigm for revealing fundamental concepts of multicellularity and organismal growth. Multicellularity is a fundamental principle of life on our planet, and plants represent ideal objects for deciphering concepts of multi-cellularity and organismal growth.

The past few years were highly productive in this regard, and we were able to make major contributions to the field: we functionally mapped central cambium domains, identified central cell fate regulators, explored the role of auxin in controlling wood formation and established tissue- and cell-specific transcriptomics in the context of the cambium. In addition, computational modelling of cellular dynamics targeting regulatory networks and mechanical aspects of radial plant growth is currently developing into a central part of our work. Building on these achievements, we are in the process of establishing integrated and comprehensive views on one of the most productive terrestrial growth processes with regard to biomass production and long-term sequestration of atmospheric CO₂. ●

PROF. DR THOMAS GREB has been heading the research group “Developmental Physiology” at Heidelberg University’s Centre for Organismal Studies (COS) since 2015. He studied biology at the University of Cologne and in 2003 received his PhD from the Max Planck Institute for Plant Breeding Research in Cologne. He conducted research at the John Innes Centre in Norwich (UK), which specialises in molecular plant research and microbiology; in 2006 he became head of a junior research group at the Gregor Mendel Institute of Molecular Plant Biology in Vienna (Austria) and in 2012 completed his habilitation at the University of Vienna. Thomas Greb was awarded a Heisenberg Professorship of the German Research Foundation and a Consolidator Grant of the European Research Council (ERC) amounting to roughly two million euros for his research on the processes occurring in cells and cell walls during plant growth.

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

“How can something as fragile as a cell cause something as hard and solid as a tree trunk to grow?”

„Die Bedeutung von Pflanzen für das globale Ökosystem und die Lebensqualität der Menschen kann nicht hoch genug eingeschätzt werden.“

Kehren wir zur Ausgangsfrage zurück: Wie kann etwas so Fragiles wie eine Zelle so etwas Festes wie einen Baumstamm wachsen lassen? Diese Frage gibt die spannendste

Centre for Organismal Studies

Das Centre for Organismal Studies (COS) ist das größte lebenswissenschaftliche Forschungszentrum an der Universität Heidelberg. Die Wissenschaftler:innen am COS erforschen die komplexen biologischen Mechanismen lebender Systeme über alle Größenskalen und Organisationsstufen hinweg: von der molekularen Analyse über die Ebene der Zelle bis hin zur Gesamtheit eines Organismus im Kontext mit seiner Umwelt. Das Zentrum, das 2010 aus einem Zusammenschluss der Institute für Zoologie und Pflanzenwissenschaften entstand, gehört zu den zentralen wissenschaftlichen Einrichtungen der Universität Heidelberg. Derzeit besteht es aus 16 Abteilungen und vier unabhängigen Nachwuchsgruppen; insgesamt arbeiten hier aktuell 35 Forschungsgruppen mit rund 300 Mitarbeiter:innen. Der Botanische Garten Heidelberg ist mit einer eigenen Organisationsstruktur ebenfalls im COS eingebunden.

www.cos.uni-heidelberg.de

Richtung unserer Forschungsarbeiten vor, ist sie doch noch viel grundlegender als die Frage nach der Regulation des Kambiums. Dennoch kann uns das Studium des Kambiums gute Dienste leisten, um zu erfahren, wie Zellen Organe mit einer bestimmten Form und Festigkeit bilden und wie sie dazu mechanische Signale verarbeiten. Wenn die Stammzellen des Kambiums festes Gewebe produzieren, sind sie einem großen mechanischen Stress ausgesetzt. Wir denken, dass die sich entwickelnden Holzzellen einen starken Druck auf die Stammzellen ausüben und auf diese Weise die Eigenschaften der Stammzellen mitbestimmen. Um unsere These zu prüfen, haben wir die mechanischen Eigenschaften von Holzzellen mit molekularbiologischen Methoden verändert. Da wir die Gene, die in den Stammzellen aktiv sind, bereits kennen, können wir nun untersuchen, ob sie an der Verarbeitung der mechanischen Reize beteiligt sind.

Ein weiteres zentrales Forschungsziel ist es, die Bildung von Biomasse durch Pflanzen besser zu verstehen und zu ermitteln, wie die Bildung von Biomasse modifiziert werden kann, um die Rolle der Pflanzen in einer sich stetig verändernden Umwelt zu stärken. Im Stoffkreislauf der Erde sind Pflanzen die wichtigste Verbindung zwischen der belebten und der unbelebten Welt. Ihre Bedeutung für das globale Ökosystem und die Lebensqualität der Menschen kann nicht hoch genug eingeschätzt werden. ●

MORALISCHE

LANDKARTEN

MORALISCHE LANDKARTEN

LITERATUR IM WECHSEL DER BEWERTUNGSHORIZONTE

GÜNTER LEYPOLDT

Vor zehn Jahren wurde der internationale Buchmarkt vom Erfolg der Romantrilogie „Fifty Shades of Grey“ überrascht, die zwar weltweit die Bestsellerlisten eroberte, vom Feuilleton aber einhellig als Kitsch auf Groschenromanniveau verurteilt wurde. Das literarische Werk des chinesischen Schriftstellers Mo Yan, der im selben Jahr mit dem Nobelpreis für Literatur ausgezeichnet wurde, dürfte dagegen der breiten Masse der Leser:innen unbekannt sein. Ursache für dieses Missverhältnis ist der doppelte Charakter literarischer Erfahrung, die zwei unterschiedliche Wertesysteme mit „weichen“ und „harten“ Qualitätskriterien kennt.

Literarische Texte sind Artefakte mit komplexen Wertzuschreibungen. Sie können einerseits als Unterhaltungsmedien zirkulieren, deren Qualität auf ähnlich „weichen“ Kriterien basiert wie die Frage, ob man nach dem Essen Kaffee oder Tee bevorzugt: jeder nach seinem Geschmack! Andererseits kann Literatur mit einer affektiven Intensität wahrgenommen werden, die an die Wirkung von heiligen Dingen und moralischen Normen erinnert. Dadurch entstehen „harte“ Werthierarchien, die sich in der sozialen Praxis durch ein hohes Maß an Stabilität und kultureller Relevanz auszeichnen.

Die Dissonanz zwischen „weichen“ und „harten“ Bewertungspraktiken ist eine Herausforderung für traditionelle Literaturbegriffe, die eine wie auch immer geartete Einheit literarischer Kriterien annehmen. Denn als Leser:in literarischer Texte scheint man sich immer in zwei unterschiedlichen Wertesystemen zu befinden, die gleichzeitig wirksam sein können, sich aber auch oft gegenseitig ausschließen: Das eine Wertesystem richtet sich nach dem alltagspragmatischen Nutzen einer Lektüre; das andere nach moralischen Ökonomien, das heißt gesellschaftlich verhandelten Wahrnehmungen „höherer Werte“, die sich den zweckrationalen Kriterien persönlicher Vorlieben entziehen.

Schwache und starke Bewertungsrahmen

Um diesen doppelten Charakter literarischer Erfahrung zwischen „weichen“ und „harten“ Qualitätskriterien besser zu verstehen, ist die von dem kanadischen Moralphilosophen Charles Taylor ins Spiel gebrachte Unterscheidung zwischen „schwachen und starken Bewertungsrahmen“ hilfreich. In der Sphäre der schwachen Bewertungen sind Meinungsverschiedenheiten vergleichsweise leicht zu tolerieren. Ob man nun seinen Urlaub lieber am Meer oder in den Bergen verbringt oder sich für chinesisches oder italienisches Essen begeistert: Man kann das eine mit Leidenschaft wollen und die Alternative ebenso vehement ablehnen und käme dennoch kaum auf die Idee, von seinen Mitmenschen Übereinstimmung einzufordern. Die Sphäre schwacher Werte erlaubt uns eine quasi-relativistische Grundhaltung zu den unterschiedlichen Definitionen des „guten Lebens“.

Im Feld der Literatur führt der Rahmen schwacher Werte zum Bewertungshabitus selbstbestimmter Konsument:innen, die sich in liberalen Gesellschaften die Freiheit herausnehmen dürfen, das eigene Leseverhalten ausschließlich im Sinne persönlicher Bedürfnisse, pragmatischer Ziele und individuell-alltäglicher Gebrauchszusammenhänge zu gestalten. Im Zentrum schwacher Bewertungshorizonte steht die Frage, welcher Text uns das bietet, was wir im Moment gerade wollen (die Liste möglicher Desiderate ist freilich lang: Schönheit, Wahrheit, Reflexion, Zerstreung, therapeutische Selbsthilfe, Erleuchtung, Trost, Erbauung etc.). Typisch für diese

auf alltäglich-individuelle Bedürfnisse gerichtete Werthaltung ist die bekannte leserseitige Gereiztheit gegenüber normativen Diskursen über „literarische Qualität“ – man sträubt sich gegen den als Anmaßung empfundenen erhobenen Zeigefinger eines lebensfernen Elfenbeinturms, der einem vorschreiben will, wie man etwa seine Freizeit zu gestalten hat.

Wohingegen uns starke Bewertungsrahmen dazu zwingen, unsere Lebenspraxis in Relation zu moralischen Landkarten zu setzen, die unseren individuellen alltagspraktischen Horizont transzendieren. Starke Werte erlebt man nicht als Produkt des eigenen Intellekts, sondern empfindet sie als etwas, das außerhalb unseres Selbst liegt. Während schwache Bewertungen aus persönlichen Wünschen und Neigungen resultieren, veranlasst uns ein starker Bewertungsrahmen dazu, unsere Wünsche und Neigungen selbst einer Bewertung zu unterziehen und etwa in hierarchischen Kategorien wie „besser“ oder „schlechter“, „höher“ oder „niedriger“, mehr oder weniger „tiefgründig“ oder „oberflächlich“, „würdevoll“ oder „banal“ usw. einzuteilen. Und während uns schwache Werte mit einer gewissen Beliebigkeit berühren und danach wieder an uns abperlen können – denn sie beeinflussen uns weniger auf existenzielle Weise, dringen kaum in unser Inneres ein und lassen uns nach der Berührung mehr oder weniger „unverändert“ zurück –, haben starke Werte einen identitätsrelevanteren und transformativeren Charakter: Sie verbinden uns mit einem gefühlten charismatischen Zentrum (eine Art Ort der moralischen „Fülle“, in Taylors Formulierung), das wir als wesentlich für unser Selbst wahrnehmen.

Die charismatische Autorität eines Textes

Im Kontext starker Bewertung fühlt man sich bemüßigt, ein solches Zentrum nicht nur zu erkennen, sondern sich auch daran zu „orientieren“. Man entwickelt ein Gespür dafür, wo man sich im Verhältnis zu den höheren Regionen starker Werte befindet, denen man in der Lebenspraxis gefühlt näherkommen oder sich von ihnen entfernen kann, aber auf eine Weise, die einen nicht gleichgültig lässt, weil ein Kern unseres Seins davon betroffen ist. Während also für schwache Bewertungsrahmen „harte“ Qualitätshierarchien unwichtig werden (da lebenspraktische Differenzen als tolerierbare Geschmacksunterschiede aufgefasst werden), führen starke Bewertungsrahmen zu wirkmächtigeren Kanonisierungs- beziehungsweise Sakralisierungsphänomenen. Von Sakralisierung lässt sich sprechen, wenn sich die Kontrahent:innen einer brisanten Debatte – etwa über Abtreibung, Brexit oder die Menschenrechte – von ihren moralischen Landkarten mit einer solchen Intensität und Identitätsrelevanz „von oben“ angesprochen fühlen, dass sie für ihre Haltung keine primär rational-wissenschaftliche Begründung benötigen: Man spürt und weiß einfach, wo das eigene charismatische Zentrum liegt, und schafft es innerhalb des starken Bewertungshorizonts kaum,

davon abweichenden Positionen mit Wohlwollen zu begegnen (typisch für extreme Konflikte starken Werts ist das Gefühl von Ekel, wenn die Gegenposition als widerlich, verunreinigend oder toxisch wahrgenommen wird, was auch eher unpolitische Bürger:innen zum öffentlichen Protest motiviert).

Im Feld der Literatur zeigt sich dieses Phänomen des „Von-oben-angesprochen-Werdens“ in der bekannten „guilty pleasure“, die einen erfasst, wenn die alltäglichen Vorlieben in Konflikt mit kollektiv wahrgenommenen „höheren“ Werten geraten. Man kennt dies vom Einkaufen im Supermarkt, wo man sich gleich besser fühlt, wenn das Lieblingsprodukt im Einkaufswagen ein Fair-Trade-Siegel aufweist. Auch unser Lesevergnügen kann sich hochwertiger anfühlen, wenn der konsumierte Text mit dem Gütesiegel „ernsthafte“ oder „große“ Kunst gekennzeichnet ist. Der Text erhält dadurch eine gleichsam „charismatische Autorität“, die einen leserseitigen Vertrauensvorschuss bewirken kann: Man erspürt die höhere Provenienz des Textes (seine Verbindung zu starken Werten) schon vor der Lektüre und ist dann eher geneigt, ein ausbleibendes Lektüervergnügen als eigenes Fehlvermögen zu interpretieren, anstatt den Text dafür verantwortlich zu machen. Ein solcher Vertrauensvorschuss beruht nicht auf demokratischen Umfrageergebnissen (etwa den umsatzgenerierten Ratings von Amazon), sondern auf den „Prestigeökonomien“ gesellschaftlich legitimierter Kurator:innen und Institutionen.

Ständiger Wechsel der Bewertungshorizonte

Prestigeökonomien, wie sie heute vor allem im System literarischer Preise zum Ausdruck kommen, werden gerne als Äußerlichkeiten eines statusverliebten Literaturbetriebs oder Snobismus obrigkeitshöriger Lesergruppen abgetan. Nun ist jedoch die Vorstellung einer selbstbestimmten Leser:in, die sich im Warenhaus der Literatur im Bottom-

up-Prozess einen eigenen, das heißt von etablierten Kurationskulturen unabhängigen Kanon der besten Literatur erarbeitet, eher unrealistisch. Der Grund dafür ist nicht nur die Masse der jährlich publizierten Bücher (2015 sind geschätzte 220.000 neue englischsprachige Romane erschienen) – wichtiger ist, dass Autorität immer einen gemeinschaftlichen Charakter hat. Im Gegensatz zur Macht, die kein Vertrauen benötigt, weil man sie auch gegen den Willen des anderen durchsetzen kann, gründen autorisierte starke Werte in einer öffentlichen Vertrauensstruktur, die die persönlichen Vorstellungen und biographischen Leseerfahrungen einzelner Individuen transzendiert. Denn ähnlich wie religiöse oder moralische Normen basiert Autorität auf kollektiv legitimierten Werthierarchien, die sich mit einer gewissen symbolischen Gewalt in den öffentlichen Raum einschreiben. Nun kann man sich den starken Werten des öffentlichen Raums zwar widersetzen, sie bilden dennoch den zentralen Orientierungsrahmen und vermitteln auch Laienleser:innen zumindest ein Gefühl dafür, wo sich ein Artefakt in den kollektiv bestimmten Höhen und Tiefen der kulturellen Landschaft verortet.

Die konkrete Ausprägung starker literarisch-ästhetischer Werte unterliegt freilich ständigem geschichtlichen Wandel, aber seit der Romantik lassen sich drei grobe Kriteriencluster erkennen, die in unterschiedlicher Kombination für die Autorisierung „höherer“ literarischer Räume immer noch eine wichtige Rolle spielen, auch wenn es darum geht, literarische Unterhaltungsmedien als „höhere Unterhaltung“ zu markieren:

1. Ästhetische Innovation, etwa die Erfindung einer neuen und traditionserweiternden Formensprache;
2. Singularität, im Sinne einer besonderen „welterzeugenden“ oder visionär-intellektuellen Qualität; und
3. Repräsentativität, das heißt die Fähigkeit, eine spezifische Epoche, Daseinsform oder kulturelle Identität besonders eindrücklich auf den Punkt zu bringen.

„Als Leser:in literarischer Texte scheint man sich immer in zwei unterschiedlichen Wertesystemen zu befinden.“

In modernen literarischen Systemen haben sich starke und schwache Werthorizonte in unterschiedlichen Praxisräumen institutionalisiert: Seit der Verbreitung des Freizeitlesens im 18. Jahrhundert (gefolgt von der Industrialisierung des Buchdrucks und der Entstehung eines Massenlesepublikums im späten 19. Jahrhundert) ist es für eine zunehmend breitere Öffentlichkeit möglich geworden, die Autorität stark bewerteter Literatur zwar zur Kenntnis zu nehmen, im Alltag aber dennoch hauptsächlich schwach bewertete Unterhaltungsmedien zu konsumieren, ohne sich dabei rechtfertigen oder gar schämen zu müssen. Es wird zudem möglich, sich als Leser:in vorwiegend im Praxisraum des Laien zu bewegen und die Verhandlung starker Werte einem „berufenen“ oder „professionellen“ literarischen Establishment zu überlassen, dessen stark bewertete Prestigeökonomien man theoretisch anerkennen und gleichzeitig in der Unterhaltungslektüre auch ignorieren kann. Und auch professionelle Leser:innen wechseln ständig zwischen schwachen und starken Bewertungshorizonten hin und her: Derselbe

„Autorität hat immer einen gemeinschaftlichen Charakter.“

Roman, der bei der abendlichen Lektüre mit einem Glas Wein noch als attraktive Unterhaltung empfunden wird, kann am Morgen danach unter der literaturkritischen Brille formelhaft oder kitschig erscheinen. Solche Widersprüche lassen sich gut aushalten, solange es nicht zur gefühlten „Verunreinigung“ starker Werte kommt. So etwa, wenn man befürchtet, dass die Berührung durch schlechte Unterhaltung unseren Sinn für Höheres korrumpiert (eine durchaus gängige Wahrnehmung, die sich von der „Lesesucht“-Debatte des 18. Jahrhunderts bis zur heutigen Furcht vor Computerspielen zieht).

Traditionellen Literatur- und Kulturtheorien fehlt bisweilen der Blick für die Unterschiede harter und weicher Bewertungsrahmen. So fördert die Dominanz starker Werthorizonte in Literaturfeuilletons eine Tendenz, Unterhaltungsmedien für mangelnden Innovationsgehalt oder fehlende höhere Einsichten zu kritisieren. Dabei wird die schwach-pragmatische Logik literarischer Unterhaltung verkannt sowie ihr identitätsdeterminierender Charakter überschätzt. Der ideologiekritische Slogan, alles sei irgendwie politisch, übersieht die potenzielle Flüchtigkeit alltagspraktischer Literatur als kurzzeitiges Objekt der Begierde, das man wie ein gutes Dessert mit Gusto verschlingen und danach aber auch sofort vergessen kann.

Dagegen führt der verallgemeinernde Blick auf schwach bewertete Praxisräume der Literatur dazu, die Relevanz von Sakralisierungsphänomenen zu übersehen, wie man in zwei bekannten literaturgeschichtlichen „großen Erzählungen“ gut sehen kann. Die eine ist die durch die „Frankfurter Schule“ prominent vertretene Verfallsgeschichte der Literatur als angebliche Konsequenz einer „kulturindustriellen“ Unterhaltungsindustrie. Die andere ist die zuerst durch die Cultural-Studies-Bewegung angestoßene Befreiungs- und Demokratisierungsgeschichte, in der sich das Lesepublikum mithilfe populärer Gegenkulturen von bildungselitären und wertkonservativen literarischen Traditionen emanzipiert.

Heidelberg Center for American Studies

Am 2004 gegründeten Heidelberg Center for American Studies (HCA), das zu den zentralen wissenschaftlichen Einrichtungen der Universität Heidelberg gehört, werden historische, kulturelle, wirtschaftliche, politische und gesellschaftliche Entwicklungen in den USA erforscht und analysiert. Darüber hinaus fördert es den Dialog zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit und trägt zur Schaffung und Stärkung transatlantischer Netzwerke bei. Das seit 2006 im Curt und Heidemarie Engelhorn Palais angesiedelte HCA wurde mithilfe privater Förderer aufgebaut und finanziert sich als „Public-private-Partnership“ auch aus privaten Mitteln. Direktor ist der Wirtschaftswissenschaftler Prof. Dr. Welf Werner.

Das HCA bündelt die Amerika-Forschung von sechs Fakultäten und sieben Disziplinen und bildet in seinen Bachelor-, Master- und Ph.D.-Programmen interdisziplinär geschulte und interkulturell qualifizierte Amerikaexpert:innen aus. Absolvent:innen aus rund 50 Ländern haben dieses Angebot seit 2004 wahrgenommen. Am HCA ist das Graduiertenkolleg „Autorität und Vertrauen in der amerikanischen Kultur, Gesellschaft, Geschichte und Politik“ angesiedelt, das in der zweiten Förderperiode von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) mit rund 4,3 Millionen Euro unterstützt wird. Sprecher:innen sind der Anglist Prof. Dr. Günter Leyboldt und die Geographin Prof. Dr. Ulrike Gerhard.

www.hca.uni-heidelberg.de

MORAL MAPS

LITERATURE AMIDST CHANGING EVALUATION REGIMES

GÜNTER LEYPOLDT

Literature is subject to complex evaluation regimes: a good novel can circulate as entertainment, in which case its “quality” seems based on similarly “soft” criteria as whether one prefers coffee or tea after a meal (no arguing about taste!). But the same novel can also strike us with the affective intensity of sacred things and moral norms. In this case, we get “hard” value hierarchies with a high degree of performative stability and social relevance.

This tension between the “soft” and “hard” materiality of literature – between the more private uses and the public authority of reading – is a challenge for traditional literary theories that want to define literary value with a single logic. To gain a more coherent picture of the complexities of readerly judgment, it is helpful to consider the distinction between “strong” and “weak” evaluative frames developed by the Canadian philosopher Charles Taylor.

In the sphere of weaker values, dissent about what can count as “the good life” is comparatively easy to tolerate: all choices seem equally valid as long as they deliver subjective satisfaction. Weak-valued frameworks turn readers into self-reliant consumers, free to choose whatever suits their purpose, impatient with normative opinions about literary quality or schoolroom canonicity. By contrast, strong evaluative frameworks relate our life practice to collectively imagined moral or charismatic “centres”. Whereas weak evaluations result from personal desires, strong ones classify our desires as better or worse. We speak of a “guilty pleasure”, for example, when we enjoy a text that lacks the authority of “serious” or “great” art. “Authority” in this case rests on public “economies of prestige” that guide our sense of a work’s place in the more or less consecrated regions of cultural space. Thus, while weak values can be private and relatively superficial to our sense of selfhood, strong values connect us to an identity-relevant and collectively imagined centre of charismatic orientation. ●

PROF. DR GÜNTER LEYPOLDT joined Heidelberg University in 2009 as a Professor of American Literature and Culture at the Department of English and the Heidelberg Center for American Studies; he also serves as spokesperson of the DFG research training group “Authority and Trust in American Culture, Society, History and Politics”. He previously held positions at the universities of Tübingen and Mainz, was a Fellow at the Yale Center for Cultural Sociology (USA) and worked as a guest lecturer at the University of Maryland (USA) and Dartmouth College (USA). His research interests include American and Anglophone literature from 1800 to the present, the philosophy of American pragmatism, general literary and cultural theory and the cultural sociology of aesthetic experience.

Contact: leypoldt@
as.uni-heidelberg.de

**“Even professional readers
constantly move back
and forth between weak and
strong evaluative frames.”**

„Avantgardisierung“ des literarischen Establishments

Beide dieser „grand récits“ oder „master narratives“ reduzieren ein komplexes Spannungsfeld zu einem Nullsummenspiel zwischen kommerzieller Unterhaltung und „gegenkultureller“ Befreiung. Ein differenzierterer ethnographischer Blick auf das literarische Feld zeigt jedoch, dass die explosionsartige Entstehung des literarischen Unterhaltungssektors um 1750 und seine massiven Erweiterungen bis 1950 auch mit einer zunehmenden Konsolidierung starker Werthorizonte einherging, die sich vor allem in den zahlenmäßig kleineren, aber kulturell einflussreicheren Praxisräumen subventionierter Literaturproduktion vollzogen hat. Zwischen 1900 und 1960 gewannen diese Praxisräume erheblich an Autorität, so dass man von einer „Avantgardisierung“ des literarischen Establishments sprechen kann. Diese zeigt sich einerseits in der nahezu unangefochtenen Musealisierung der literarischen Moderne (das heißt der Neuzentrierung des Bildungskanons um schwer kommerzialisierbare Texte wie etwa James Joyces „Ulysses“, Thomas Manns „Der Zauberberg“ oder Marcel Prousts „Auf der Suche nach der verlorenen Zeit“), andererseits im vergleichsweise hohen professionellen „gate-keeping“ in der Verhandlung literarischer Autorität. Während das Feld der populären Musik oder des Hollywood-Films durch ein Blockbuster-Regime dominiert wird, bei dem das Oscar- oder Grammy-zertifizierte Prestige von Superstars wie Bob Dylan oder Steven Spielberg mit Millionenumsätzen korrespondiert, zeigt das literarische Feld ein komplexeres Verhältnis zwischen schriftstellerischem Ansehen, öffentlicher Anerkennung und kommerziellem Erfolg.

So kann der hochautonome Literatur-Nobelpreis durch seine historisch gewachsene Autorität eine große Distanz



PROF. DR. GÜNTER LEYPOLDT ist seit 2009 Professor für amerikanische Literatur und Kultur am Anglistischen Seminar und dem Heidelberg Center for American Studies (HCA) der Universität Heidelberg sowie Sprecher des DFG-Graduiertenkollegs „Autorität und Vertrauen in der amerikanischen Kultur, Gesellschaft, Geschichte und Politik“. Zuvor lehrte er an den Universitäten Tübingen und Mainz, war Fellow am Yale Center for Cultural Sociology (USA) und hatte Gastdozenturen an der University of Maryland (USA) und dem Dartmouth College (USA). Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören die amerikanische und anglophone Literatur von 1800 bis zur Gegenwart, die Philosophie des amerikanischen Pragmatismus, allgemeine Literatur- und Kulturtheorie und die Kultursoziologie ästhetischer Erfahrung.

Kontakt: leypoldt@as.uni-heidelberg.de

zwischen Kurator:innen und dem lesenden Publikum aushalten – etwa wenn wie 1996 mit Maria Szymborska eine nahezu unbekannt und kommerziell insignifikante Lyrikerin aus Polen gekürt wird. Eine Vielzahl „mittlerer“ Preise wie Booker Prize, Pulitzer Prize oder Georg-Büchner-Preis tendieren zu literarisch anspruchsvollen Formen, die ihren kommerziell spürbaren Unterhaltungswert nur für lesenahe Öffentlichkeiten generieren. Der Großteil des literarischen Unterhaltungsmarktes wird vom System literarischer Preise jedoch ignoriert, da Debatten darüber, was als literarische Qualität gelten darf, von einem durch höhere Bildungskarrieren und öffentliche Kultursubventionen „akademisierten“ Peer-Review dominiert wird. Im Gegensatz zum Film oder zur Musik bleibt das Blockbuster-Regime der Literatur in den unteren Regionen des charismatischen Werthorizonts verortet. So werden die Bestsellerlisten von Schriftsteller:innen wie Dan Brown („The Da Vinci Code“) oder E.L. James („Fifty Shades of Grey“) angeführt, die sich millionenfach verkaufen, ohne einen einzigen renommierten literarischen Preis zu bekommen. Es ist möglich, wie Danielle Steel mehr als 600 Millionen Exemplare von 61 Romanen zu verkaufen, ohne die geringste Chance zu haben, jemals literaturgeschichtsfähig, das heißt Teil des „literarischen Erbes“ zu werden. Auch hier zeigt sich die unterschiedliche Identitätsrelevanz der beiden skizzierten Bewertungshorizonte: Schwache Werte können millionenfach zirkulieren und dabei kaum Spuren im kulturellen Gedächtnis hinterlassen. Starke Werte entfalten ihre „außeralltägliche“ Wirkung als identitätsrelevante Formen des Zivil-Sakralen auch bei geringer alltagspraktischer Sichtbarkeit. ●

„Unser Lesevergnügen kann sich hochwertiger anfühlen, wenn der konsumierte Text mit dem Gütesiegel ‚ernsthafter‘ oder ‚großer‘ Kunst gekennzeichnet ist.“

GRENZFRAGEN

GRENZFRAGEN

STADTARCHITEKTUR ALS PROZESS

BRIGITTE SÖLCH

Mauer und Wand als harte, Fenster und Türen als weiche Grenzen der Architektur sind tagtäglich im Stadtraum erfahrbar. Diese Grenzen sind allerdings nicht statisch – wie sie in einem komplexen Gefüge von Architektur, Öffentlichkeit und Politik immer wieder in Bewegung gesetzt werden, damit beschäftigt sich am Beispiel der Rathausarchitektur ein Forschungsprojekt am Institut für Europäische Kunstgeschichte der Universität Heidelberg. Verknüpft wird dabei der Architekturbegriff mit politischen beziehungsweise demokratischen Raumbildungsprozessen.

W

Was hat Architektur mit „hart“ und „weich“ zu tun? Ist es nicht vor allem das Thema der Grenze, das dieses Spannungsfeld markiert? Mauer und Wand als harte, Fenster und Türen als weiche Grenzen – neben (un)sichtbaren rechtlichen Regulierungen, die das Betreten, die Zugänglichkeit, die Benutzungsordnung von Architektur betreffen. Im Fokus stehen hier die Grenzen der Architektur, die tagtäglich im Stadtraum erfahrbar sind. Doch was gehört eigentlich zu dem, was wir als Architektur bezeichnen, beschreiben und analysieren?

Seit dem römischen Architekten und Architekturtheoretiker Vitruv, der im ersten Jahrhundert vor Christus lebte, wird Architektur mit der Idee von Schönheit,

Dauerhaftigkeit, Festigkeit verbunden – wenngleich es angesichts von Naturkatastrophen und Kriegssituationen unübersehbar ist, wie anfällig, wie verletzlich sie eigentlich ist. Selbst dann, wenn kein einschneidendes Ereignis passiert. „How buildings learn. What happens after they're built“ – dieser Titel eines 1994 erschienenen Buchs des Autors Stewart Brand bleibt deshalb ein zentrales Thema, ebenso wie die Perspektive, Architektur grundsätzlich als Prozess zu begreifen, oder der Ansatz, dass Architektur im Grunde unabgeschlossen, somit auch veränderbar ist. In der Frühen Neuzeit war es die Metapher von Architektur als Lebewesen, die dieses Denken untermauerte. Entsprechend schrieb der Mailänder Architekt und Theoretiker Antonio Filarete im 15. Jahrhundert: Man sehe an den römischen Ruinen, dass Architektur sterbe, wenn sie nicht ausreichend ernährt und gefüttert werde.

Das Nachdenken über Architektur als Prozess ist ein ebenso wichtiger Ausgangspunkt für mein Forschungsinteresse an ausgewählten Problemkonstellationen innerhalb der kunstwissenschaftlichen Stadt- und Öffentlichkeitsforschung, wie die Frage nach (historischen)

Vorstellungen der emotiven, also gefühlsbezogenen Wahrnehmung und Wirkung von Architektur. Ein Fokus richtet sich auf Portal- und Erdgeschosszonen öffentlicher Bauwerke, die es diachron zu analysieren lohnt. Ziel meiner Forschung in diesem Bereich ist die Auseinandersetzung mit dem Architekturbegriff und mit politischen beziehungsweise demokratischen Raumbildungsprozessen. Neben Gerichtsbauten kommt dem Rathaus als Symbol demokratischer Selbstverwaltung deshalb eine zentrale Rolle zu. Dabei geht es nicht allein um den künstlerischen Wert der Idee, die dem Bau zugrunde liegt, und die Qualität der Ausführung. Es geht vielmehr auch um die Frage, wie Architektur durch Skulptur, Bilder, Ausstellungen und „angedockte“ Bauten aufgeladen, angereichert oder gestört wird – von Beginn an und im Verlauf der Zeit. Zu analysieren, wie Rathäuser auf der Alltagsebene wahrgenommen werden, wie harte in weiche Grenzen übergehen können und umgekehrt, bietet Einblick in alltägliche Wahrnehmungsmöglichkeiten von Architektur und Demokratie.

Architektur als Archiv von Demokratiegeschichte(n)

Angesichts zahlreicher aktueller Diskussionen um den Abriss von (ungeliebten) Rathäusern vor allem der Nachkriegsmoderne scheint es mir umso dringlicher, Architektur mithin als Archiv und als lebendigen Körper von Demokratiegeschichte(n) in den Blick zu nehmen und als Bestandteil des „Struggle for Democracy“ zu untersuchen. Das kunsthistorische Instrumentarium des vergleichenden Sehens und der formalen Analyse gilt es im Verbund mit theoretischen Positionen fruchtbar zu machen, die wie die Soziologin Heike Delitz Architektur als „Sozius“, als Gefährten, und nicht mehr nur als Spiegelbild oder Ausdruck von etwas anderem verstehen. Ferner kommt der ethischen und ästhetischen Dimension des Sehens, auch im Sinn der aufmerksamen Wahrnehmung, eine bedeutende Rolle zu. Sie umfasst Hannah Arendts Überlegungen zum Verhältnis von Erscheinen („appearance“) und Sehen, da Arendt das Erscheinen als eine Kategorie versteht, die an die Kunst gebunden ist, wohingegen das Sehen ein Aktiv-mitder-Welt-in-Verbindung-Treten meint, wie die Ästhetik-Professorin Cecilia Sjöholm zeigt. Arendt fragt nicht, was Kunst ist, sondern was Kunst kann: nämlich zur Beurteilung des Realen beitragen.

Dass aufmerksames Sehen und Wahrnehmen etwas ist, das im Alltag geschult werden muss, hat John Dewey als Philosoph und Pädagoge bereits 1934 in „The Art of Experience“ gezeigt. Dewey, der ein partizipatorisches Demokratie- und Erziehungsverständnis vertrat, setzt sich vom bürgerlichen Kunstdiskurs des Museums ab. Seine Erfahrungsästhetik adressiert stattdessen alle sinnlich erfahrbaren Momente des alltäglichen Lebens. Damit hatte er großen Einfluss auf den beispielsweise von dem Architekturhistoriker Sigfried Giedion oder



PROF. DR. BRIGITTE SÖLCH ist seit April 2021 Professorin für Kunst- und Architekturgeschichte am Institut für Europäische Kunstgeschichte der Universität Heidelberg. Nach einem Studium der Kunstgeschichte, Klassischen Archäologie und Psychologie, einem anschließenden zweijährigen Forschungsaufenthalt in Rom und einem wissenschaftlichen Volontariat am Museum für Neue Kunst | ZMK Karlsruhe wurde sie 2003 promoviert, 2018 folgte ihre Habilitation. Dazwischen lagen Stationen in Forschung und Lehre unter anderem am Kunsthistorischen Institut in Florenz – Max-Planck-Institut und an der Humboldt-Universität Berlin. Vor ihrem Wechsel nach Heidelberg war Brigitte Sölch Professorin für Architektur- und Designgeschichte | Architekturtheorie an der Staatlichen Akademie der Bildenden Künste Stuttgart. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören unter anderen die Bereiche Bild- und Architekturgeschichte mit Bezug zur (politischen) Ideengeschichte, Struggle for Democracy sowie Architektur, Skulptur und Sklavenbildnisse.

Kontakt: b.soelch@zegk.uni-heidelberg.de

dem Architekten und Stadtplaner Josep Lluís Sert geführten Nachkriegsdiskurs, der die Bedeutung von Kunst im öffentlichen Raum an das Zusammenspiel von Architektur und Kunst band und als Teil eines Rehumanisierungsprozesses verstand.

Keihen wir zu Portal und Erdgeschosszonen von Rathäusern und der Außenwand als einer möglichen Bestimmungsebene von Grenzfragen im alltäglichen Erfahrungsraum von Stadt zurück, beinhaltet das Nachdenken über „hart“ und „weich“ in der Architektur einige zentrale Facetten, Problem- und Konfliktlagen.

Architektur und Bild(konflikt)

Generell lässt sich die Außenwand als harte Grenze beschreiben, deren Öffnungen (Fenster, Türen, Portale) weiche Grenzen und auch Schwellenräume sind. Wie im frühneuzeitlichen Hof(zeremoniell) kann Öffentlichkeit zudem vom Portal über Innenhöfe und Treppen bis in die Festsäle reichen und architektonisch entsprechend ausgezeichnet sein. Daneben gilt die Außenwand im westlichen Architekturdiskurs als zentrale Kommunikationsebene mit dem Stadtraum. Wie sie angemessen gestaltet werden kann, ist zentrales Thema der frühneuzeitlichen Architekturtheorie und des Ornamentdiskurses. Damit verbunden ist die Wandmalerei, die auch frühneuzeitliche Rathäuser prägt. Was aber passiert, wenn die gebaute Außenwand nicht in ihrer architektonischen Ordnung und Stabilität wahrgenommen wird, sondern weich und durchlässig erscheint, da sie zum Wandbild wird? In der Kunst- und Architekturtheorie der Renaissance ist dies als Konfliktsituation präsent – wie der Kunsthistoriker Gunter Schweikhart am Beispiel des Architekten und Theoretikers Sebastiano Serlio (1475–1554) zeigt, der dazu schreibt: „Soll eine Fassade bemalt werden, so sind Öffnungen, die Luft vortäuschen, oder Landschaften nicht angemessen. Beide zerstören das Gebäude. Sie verwandeln es und machen aus einem körperlichen, festen Bau einen durchscheinenden ohne Festigkeit, so als sei er unvollendet oder ruinös.“ Andere Maler:innen hingegen waren von illusionistischen Effekten begeistert.

An Aktualität hat das Thema nicht eingebüßt. Noch heute sind Murals und Graffitis Gegenstand sowohl positiv gewerteter als auch zerstörerisch empfundener Besetzungen von Architektur, besonders wenn es um Regierungs- und Rathausbauten geht. Deutlich wurde dies bei den „Black Lives Matter“-Demonstrationen infolge des gewaltsamen Todes von George Floyd am 25. Mai 2020: Auf Erdgeschosszonen und Portale amerikanischer Town Halls gesprühte Bilder wurden in kurzer Zeit wieder übermalt, gingen jedoch über Social Media viral und blieben damit im öffentlichen Bildgedächtnis präsent. Sie gilt es wie andere nicht mehr erhaltene, da abgetragene und übermalte Schichten und Außenhautspuren in die Analyse von

„Die Außenwand gilt im westlichen Architekturdiskurs als zentrale Kommunikationsebene mit dem Stadtraum.“

Gebäuden einzubeziehen – als Anreicherung von Rathausarchitekturen und als Gegenstand einer Konfliktgeschichte.

Emotive Grenz- und Schwellenräume

Die Grenzen der Architektur können im Verlauf der Zeit verschwimmen, sich verändern, von harten zu weichen Grenzen werden und umgekehrt. Damit einher gehen (un)geplante Motive und Momente der Aufladung, die auf die emotive Wahrnehmung und Wirkung der Architektur zielen. In der Frühen Neuzeit betraf dies auch Erdgeschosszonen von politischen Regierungs- und Verwaltungskomplexen, die, wie im Fall des Dogenpalastes in Venedig, die Passant:innen direkt in die Gefängniszellen blicken ließen. Der Schrecken („terrore“) war ein maßgebliches Motiv, das im Kontext politischer Raumbildungen künstlerisch vielfältig zum Ausdruck gelangte – nicht zuletzt durch die menschliche Stütz- und Tragefigur, mit der die Außenwand bildlich besetzt wurde. Am Rathausportal von Toulon, Frankreichs bedeutendem Militärhafen, waren dies männliche, auf das Motiv des Meeres anspielende Stützfiguren, die den Druck der schweren Last des Balkons auf ihren Schultern in Gestik und Mimik deutlich zum Ausdruck bringen.

Zu einem Gegenstand nicht nur der Kunst-, sondern auch der frühneuzeitlichen Sklavengeschichte Europas wird ein solches Portal dann, wenn die Präsenz leibhaftiger Sklaven und Galeerensträflinge an Häfen wie dem in Toulon einbezogen und das seit dem 17. Jahrhundert in Ästhetik und Philosophie intensivierte Thema des sympathischen, das heißt sozial und emotional einführenden Erlebens von Skulptur mitgedacht wird. Die mittels architektonisch-menschlicher Stützfiguren aufgebrochene, damit weich scheinende Grenze der Architektur wird zu einer Schwellen-

situation emotiven Charakters, die aufgrund des unauflösbaren Zusammenhangs von Architektur und Skulptur zugleich auf die unausweichliche Härte der Gefangenschaft verweist. Vor diesem Hintergrund und den seit dem späten 18. Jahrhundert intensivierten Antisklaven- und Abolitionsdebatten gilt mein Interesse der Frage, wie Schwarze Menschen und Sklaven im Europa der Frühen Neuzeit als Stütz- und Tragefiguren ausgearbeitet, (stereo)typisiert, rassistisch konnotiert wurden – und auf diese Weise Teil der Erdgeschosszonen von Architektur wurden, wie bei dem ehemaligen Kabinetthaus am Neuen Markt in Potsdam oder dem Palais Czernin in Prag, in dem heute die Rumänische Botschaft untergebracht ist.

Welche Rolle Rathäuser in diesem Zusammenhang spielen, gilt es noch zu eruieren – und im Kontext der Tatsache zu reflektieren, dass es zwar seit dem 17. Jahrhundert verstärkt Kritik an der Darstellung menschlicher und speziell auch weiblicher Stützfiguren in der Architektur gab, Schwarze Menschen und Sklaven jedoch nicht gleichwertiger Teil des universalistisch insinuierten Menschenbegriffs waren. „Harten“ und „weichen“ Grenzen kommt somit nochmals eigene Bedeutung zu, wenn es um menschliche Stütz- und Tragefiguren in der Architektur unter sozio-politischen Gesichtspunkten und in Bezug auf historische Vorläufer von Rassismus geht.

Anlagerung – Anreicherung – Störung

Über die direkte Besetzung der Außenhaut von Architektur hinaus sind (bauliche) Anlagerungen von Interesse, die als Anreicherung oder Störung von Rathäusern wahrgenommen werden und öffentliche Debatten auslösen können. Bauliche Anlagerungen haben Einfluss auf Wahrnehmung und Wirkung von Rathausarchitekturen, indem sie etwa

die Sicht auf die Erdgeschosszone durchbrechen. Prägnantes Beispiel dafür ist das Rathaus in Berlin-Charlottenburg: Noch heute dominiert der mit 89 Metern erstaunlich hohe Turm des historistischen, mehrfach erweiterten und nach dem Krieg teils rekonstruierten Rathauskomplexes, der um mehrere Innenhöfe gruppiert ist, die gesamte Umgebung. Auf der Erdgeschossebene jedoch wird das Passieren dieses Gebäudes, dessen braunes Rustikamauerwerk und markantes Decorum die Außenwand als harte Grenze wahrnehmen lässt, immer wieder unterbrochen durch andere Formen und Funktionen, die sich im Lauf der Zeit an dem von Beginn an architektonisch eingebundenen Rathaus gewissermaßen angelagert haben. Sie weichen die distanzierte Wirkung der Architektursprache und Monumentalität des Gebäudes auf. Während an der Hauptfassade der Rathauskeller und die später eingezogene Stadtbibliothek dank ihrer Beschriftung niedrigschwellig zum Besuch auffordern, brechen der Künstlerhof und -garten an der Nordwestseite abrupt die Monumentalität und den Symbolgehalt des Gebäudes. Der Weg vom Künstlerhof, in dem der Filmmacher Harun Farocki einige Zeit lebte, über eine Ladenzeile, die dem zugehörigen Wohnkomplex aus den 1970er-Jahren vorgelagert ist, zum Otto-Wagner-Platz macht die dann erst wieder in Erscheinung tretende Hauptfassade fast vergessen.

Struggle for Democracy

Dass und wie Nähe zu Räumen der Demokratie hergestellt werden kann, war eines der großen Themen in der Nachkriegsmoderne. Zahlreiche Rathausneubauten suchten eine solche Nähe durch die Verzahnung mit dem Stadtraum auf Erdgeschossebene zu erlangen.

In der Industrie- und Arbeiter:innenstadt Marl im Ruhrgebiet führten diverse Umstände dazu, dass im Erdgeschoss des in den 1960er-Jahren fertiggestellten Rathauses 1982 ein Skulpturenmuseum eingerichtet wurde – der sogenannte Glaskasten, dessen transparente Wände jederzeit Einblick in das Innere gewährten und insofern eine weiche Grenze bildeten, als das Museum kostenlos zugänglich war. Seinen Standort hat es nun jedoch verlassen. Die kulturelle Stärkung der vorwiegend von Arbeiter:innen bewohnten Stadt war von Beginn an Ziel der Planung und wurde vom damaligen Bürgermeister Rudolf Heiland mit Nachdruck im Sinn der Arbeiter- und Volksbildung vertreten. Auch Uwe Rüth, der erste Direktor des Skulpturenmuseums, schrieb noch zu Beginn der 1990er-Jahre, dass es des Lernprozesses bedürfe, um Vorurteile abzubauen und dem Neuen – das heißt auch der Kunst – zu begegnen: „Dem Bürger zu helfen, diesen Schritt zu vollziehen, der damit auch ein Schritt wäre, allgemein dem Fremden, Ungewohnten toleranter und offener gegenüberzutreten, ist das museumsdidaktische Anliegen, das im transparenten Konzept enthalten ist.“

Unter der Voraussetzung, Architektur als Prozess zu verstehen, lassen sich soziale und politische Raum-bildungen aus kunst- und architektur-geschichtlicher Sicht eigens greifen – und als Beitrag

„Die Grenzen der Architektur können im Verlauf der Zeit verschwimmen, sich verändern, von harten zu weichen Grenzen werden und umgekehrt.“

BOUNDARY ISSUES

PUBLIC ARCHITECTURE AS PROCESS

BRIGITTE SÖLCH

Walls are an example of hard, doors and windows of soft architectural boundaries that are part of the everyday experience in urban public spaces. These boundaries are not static, however – they are rearranged time and again within a complex framework of architecture, public life and politics. The article explores this phenomenon using the example of town hall architecture and asks: what does the concept of architecture as we name, describe and analyse it involve? ●

**“Outer walls can be described
as hard boundaries,
their openings (windows,
doors, portals)
as soft boundaries and
threshold spaces.”**

PROF. DR BRIGITTE SÖLCH is Professor of Art and Architectural History at Heidelberg University's Institute for European Art History, a position she has held since April 2021. She studied art history, classical archaeology and psychology, spent two years as a researcher in Rome and was a research volunteer at the ZMK | Museum of Contemporary Art in Karlsruhe. In 2003 she obtained her PhD, and in 2018 completed her habilitation. In the intervening years she held research and teaching positions at the KHI (Kunsthistorisches Institut) in Florence – Max Planck Institute and at Humboldt Universität zu Berlin, among others. Before transferring to Heidelberg, Brigitte Sölch was Professor of Architectural and Design History | Architectural Theory at the Stuttgart State Academy of Art and Design. Her research interests include the fields of visual and architectural history as they relate to the history of (political) ideas, the struggle for democracy, and architecture, sculpture and images of slavery.

Contact: b.soelch@
zegk.uni-heidelberg.de

Geschichte und Kultur Europas und der Neuen Welt

Das 2005 gegründete Zentrum für Europäische Geschichts- und Kulturwissenschaften (ZEGK) ist ein Zusammenschluss von fünf Heidelberger Instituten: dem Historischen Seminar, dem Institut für Fränkisch-Pfälzische Geschichte und Landeskunde, dem Institut für Europäische Kunstgeschichte, dem Institut für Religionswissenschaft sowie dem Musikwissenschaftlichen Seminar. Ziel der Wissenschaftler:innen im Zentrum ist es, die Geschichte und die kulturellen Errungenschaften Europas und der Neuen Welt vom Frühmittelalter bis in die heutige Zeit zu erforschen. Durch die Allianz im ZEGK verstärken sie dabei ihre Kooperationen, nutzen Synergieeffekte und gewinnen in Lehre und Forschung an interdisziplinärer Kompetenz.

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

zu Sphären demokratischer Öffentlichkeit interpretieren. Eine entscheidende Voraussetzung dafür ist es, Störungen und das scheinbar Nichtzugehörige als Teil der Architektur zu verstehen, spezifische Problemstellungen, zum Beispiel Erdgeschoss und Portalzonen, zu analysieren – und in Beziehung zu den Spuren zu setzen, die kurzfristig aufgetragen und wieder entfernt wurden. In den Blick genommen

wird damit das Weiterleben historischer Bauten in der Gegenwart und die Frage, mit welchem Architekturverständnis darauf reagiert wird.

Rathausbauten der 1960er- und 1970er-Jahre stehen momentan vielfach und aus unterschiedlichen Gründen in der Kritik, sollen abgerissen und erneuert werden. Unabhängig davon, wie die Entscheidungen jeweils ausfallen: Ich halte es für entscheidend, sie als Archive und lebendige Körper von Demokratiegeschichte(n) ernst zu nehmen. In einer universitätsübergreifenden AG „Architekturkonflikt“, die Kunstgeschichte, Architektur und Denkmalpflege umfasst, diskutieren wir Möglichkeiten des Verständnisses von Architektur. Im Fall meiner Forschung steht die Beziehung von Architektur- und Bildgeschichte im Vordergrund – einschließlich der Frage, inwiefern wiederentdeckte oder zerstörte Bilder in Rathäusern selbst Konfliktsituationen auslösen können, die diskutiert und demokratisch ausgehandelt werden müssen. Harte und weiche Grenzen sind somit nicht statisch, sondern werden in einem komplexen Gefüge von Architektur, Öffentlichkeit und Politik immer wieder in Bewegung gesetzt. ●

„Dass und wie Nähe zu Räumen der Demokratie hergestellt werden kann, war eines der großen Themen in der Nachkriegsmoderne.“

IN STEIN

GEMEISSELT?

IN STEIN GEMEISSELT?

PERSÖNLICHKEITSENTWICKLUNG IM ERWACHSENENALTER

CORNELIA WRZUS

„Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr“ – dass diese Redewendung nicht stimmt, zeigt nicht nur die Forschung zum lebenslangen Lernen, sondern das zeigen auch Studien zur Persönlichkeitsentwicklung: Denn Persönlichkeit ist zwar im Erwachsenenalter durch Kontinuität gekennzeichnet, dennoch besteht auch Raum für Veränderungen. Persönlichkeitseigenschaften sind also weder hart wie Stein noch weich wie Butter, sondern sie sind durch alltägliche Erfahrungen formbar. Welche Prozesse dazu beitragen, dass sich Persönlichkeitsmerkmale verändern oder auch nicht, das untersucht die Psychologische Altersforschung an der Universität Heidelberg.

S

Sind Sie der Meinung, dass Eigenschaften eines Menschen mehr oder weniger feststehen und aus einer schüchternen Person kein „Partylöwe“ wird? Oder denken Sie eher, dass sich Menschen im Laufe ihres Lebens mit den Erfahrungen, die sie machen, kontinuierlich verändern und am Ende des Lebens Erlebnisse und Erfahrungen wie Puzzle- oder Mosaikteile die Persönlichkeit ergeben? Wie so oft liegt die Wahrheit in der Mitte: Persönlichkeitseigenschaften verändern sich und lassen sich verändern, aber meist nur in einem engen Rahmen, so dass eine gewisse Stabilität über die Zeit besteht. Mit dem „Wie“, also der Frage, welche Prozesse dazu beitragen, dass sich Eigenschaften verändern oder auch nicht, beschäftigt sich die Psychologische Altersforschung an der Universität Heidelberg.

Ausgangspunkt unserer Forschung zu den Prozessen der Persönlichkeitsentwicklung waren kumulierende Befunde vor rund 15 Jahren, denen zufolge sich Eigenschaften in der Persönlichkeit von Menschen nachweisbar und systematisch über die gesamte

Lebensspanne verändern. Das war eine kleine Revolution in der psychologischen Forschung, die zu diesem Zeitpunkt mehrheitlich davon ausging, dass sich Eigenschaften bei Erwachsenen ab dem Alter von etwa 30 Jahren nicht mehr ändern. Die in Meta-Analysen, das heißt integrativen Analysen bisheriger Studien festgestellten Veränderungen folgen dem sogenannten Reifeprinzip: Nach der Pubertät werden Menschen im Durchschnitt emotional stabiler, zuverlässiger, umgänglicher und fürsorglicher – sozusagen reifer, daher der Name „Reifeprinzip“. Die spannende Frage für uns war: Was führt dazu, dass sich Menschen hin zu reiferen Persönlichkeiten entwickeln, und wie verändert sich dieser Prozess über die Lebensspanne?

Alltagsnähe und ein Rahmenmodell

Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, nutzen wir in Heidelberg einen Ansatz, der sich durch seine Alltagsnähe auszeichnet: Wir messen Erlebens- und Verhaltensweisen im Alltag der Menschen mit smartphonebasierten Methoden wie „Experience Sampling“ (kurze, wiederholte Befragungen über mehrere Tage) oder „Mobile Sensing“ (indirekte Messungen beispielsweise der Kontakthäufigkeit, die auf Textnachrichten oder App-Nutzung basieren). Auch bringen wir den Alltag mithilfe sogenannter immersiver virtueller Realität (iVR) zunehmend ins Labor. Dafür haben wir das „Daily Life Lab“ gegründet, in dem wir sowohl Smartphones als auch iVR für Alltagsszenen nutzen, die

wir kontrollieren können: Dazu sehen die Studienteilnehmenden über VR-Brillen von uns erstellte 3D-Szenarien, wodurch sie das Gefühl haben, in einer Alltagsszene zu sein. Darüber hinaus haben wir das weiter unten vorgestellte TESSERA-Rahmenmodell entwickelt, welches mittlerweile auch in anderen Bereichen der Psychologie und in angrenzenden Disziplinen genutzt wird, beispielsweise in therapeutischen oder pädagogischen Kontexten.

Für die Befunde, dass Menschen in ihren Eigenschaften reifer werden, betrachten Wissenschaftler:innen zwei mögliche Erklärungsansätze: Genetik und Einflüsse der sozialen Umwelt, wobei beides möglicherweise zusammenspielt. Biologische, genetisch codierte Reifeprozesse kommen als Erklärung infrage, sind allerdings bislang wenig verstanden. Verhaltensgenetische Studien, in denen ein- und zweieiige Zwillinge oder Adoptivgeschwister untersucht werden, legen nahe, dass besonders im Kindesalter genetische Anlagen Persönlichkeitsunterschiede erklären. Von Anfang an jedoch nimmt der Einfluss von Umwelterfahrungen zu, und Umwelteinflüsse scheinen einen größeren Erklärungswert in Bezug auf Veränderungen im Verlauf des Erwachsenenalters zu haben als vererbte Gene.

Als zentrale Umwelteinflüsse werden oftmals Lebensereignisse untersucht. Mehrere Studien konnten beispielsweise zeigen, dass junge Erwachsene gewissenhafter und

„Persönlichkeitseigenschaften verändern sich und lassen sich verändern, aber meist nur in einem engen Rahmen.“

zuverlässiger wurden, wenn sie ins Berufsleben eintraten – sogar mehr als gleichaltrige Studierende. Aber Menschen werden nicht plötzlich am Tag des Arbeitsbeginns zuverlässiger – diese scheinbar sprunghaften Veränderungen von der Zeit vor dem Ereignis zu der Zeit danach liegen am Design der Studien, welche Persönlichkeitseigenschaften im Abstand von mehreren Jahren messen sowie erfragen, ob in der Zwischenzeit bestimmte Ereignisse aufgetreten sind. Studien über zwei, vier und mehr Jahre sind notwendig, da Persönlichkeitseigenschaften trotz ihrer Veränderbarkeit relativ stabil sind und man Veränderungen oft erst über einen Zeitraum von mehreren Jahren feststellen kann. Deshalb gingen wir ebenso wie die Autoren der initialen Studien davon aus, dass alltägliche Ereignisse – beispielsweise Aufgaben sorgfältig erledigen, Fristen einhalten oder pünktlich zu Terminen erscheinen – die längerfristige Zunahme an Gewissenhaftigkeit beim Eintritt ins Berufsleben erklären.

Diesen möglichen Einfluss alltäglicher Ereignisse habe ich zusammen mit Brent Roberts von der University of Illinois at Urbana-Champaign (USA) in einem Rahmenmodell systematisiert und dazu verschiedene Forschungsstränge der Psychologie integriert. In diesem Modell gehen wir zunächst allgemein davon aus, dass Situationen, die relevant für die Veränderung von Eigenschaften sein können, oftmals Erwartungen über passendes Verhalten mit sich bringen sowie bestimmte Gedanken, Gefühle und Verhaltensweisen auslösen. Auf dieses Verhalten reagieren andere oder die Personen selbst und bekräftigen oder unterbinden das gezeigte Verhalten. Wenn beispielsweise Personen eine Aufgabe übertragen bekommen, ist ihnen bewusst, dass eine sorgfältige Erledigung erwartet wird. Gehen sie diese Aufgabe nun zuverlässig und sorgfältig an, erhalten sie womöglich Lob von Dritten und sind selbst zufrieden. Beide Reaktionen können dazu beitragen, dass jemand auch in Zukunft Aufgaben sorgfältig bearbeitet. Auf Englisch lässt sich solch eine Sequenz mit den Worten Triggering situation, Expectation, State & State Expression, ReAction zusammenfassen – was abgekürzt unserem Rahmenmodell den passenden Namen TESSERA gab: Denn

„Umwelteinflüsse scheinen einen größeren Erklärungswert in Bezug auf Veränderungen im Verlauf des Erwachsenenalters zu haben als vererbte Gene.“

dieser Begriff bezeichnet auch kleine, viereckige Steine, aus denen Mosaik gestaltet werden. In dem Maß, in dem TESSERA-Sequenzen wiederholt und reflektiert werden, können sich Verhaltensmuster und die Repräsentation der eigenen Person verändern – das sogenannte Selbstkonzept.

Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und Verhalten

Natürlich treten weder Ereignisse noch Verhaltensweisen im Alltag völlig zufällig auf, sondern sie werden durch bereits existierende Eigenschaftsausprägungen und Umweltbedingungen mitgestaltet. Beispielsweise trifft man gesellige Personen öfter mit Freunden oder Kollegen beziehungsweise größeren Gruppen an als schüchterne Menschen, und sie interagieren auch mehr mit anderen. Dass solche Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und Verhalten weder trivial noch tautologisch sind, wird deutlich, wenn man berücksichtigt, dass Kontextbedingungen ebenfalls Verhalten beeinflussen: Sind überhaupt andere Menschen anwesend, mit denen man interagieren könnte, oder untersagt es der Kontext in dem Moment, mit anderen zu sprechen, zum Beispiel während

eines wissenschaftlichen Vortrags? Obwohl die Annahme, dass alltägliche Verhaltensweisen langfristig zu Veränderungen in Eigenschaften beitragen, recht plausibel klang und auf vorherigem Wissen aufbaute, mussten wir unsere Annahmen in Studien prüfen.

Idealerweise würden wir gern Menschen kontinuierlich in ihrem Alltag begleiten, um zu sehen beziehungsweise zu messen, was sie erleben und wie sie sich verhalten. Verständlicherweise ist das schlecht möglich, so dass wir uns darauf beschränkt haben, knapp 380 jüngere und ältere Personen über fast ein Jahr hinweg alle zwei Monate an zehn Abenden zum wichtigsten Ereignis des Tages zu befragen. Um unterschiedliche Zugänge zu Eigenschaften zu erlangen, haben wir zusätzlich über insgesamt zwei Jahre hinweg Persönlichkeitseigenschaften sowohl mittels etablierter Fragebögen gemessen als auch indirekt über computerbasierte Wortzuordnungsaufgaben – sogenannte Implizite Assoziationstests, mit denen nicht zwingend bewusste Selbsteinschätzungen erfasst werden. Zentrale Ergebnisse waren, dass sich bei Menschen umso stärker die Eigen-

schaften „Verträglichkeit“ und „Extraversion“ ausprägten, je mehr sie davon berichteten, sich im Alltag nett, einfühlend und gesellig verhalten zu haben. Man kann nun vermuten, dass Menschen Persönlichkeitsfragebögen und tägliche Fragen ähnlich beantworten – davon gehen wir allerdings nicht aus, weil wir auch mit den computerbasierten Tests, also mit anderen Testmethoden, für die Eigenschaft „Extraversion“ Veränderungen feststellen konnten. Andere Arbeitsgruppen haben mittlerweile ebenfalls Studien publiziert, in denen im Alltag gemessenes Sozialverhalten längerfristige Veränderungen in „Extraversion“ vorher sagte. Darüber hinaus haben wir wie auch andere Arbeitsgruppen in weiteren Studien gezeigt, dass wiederholte Stressreaktionen im Alltag eine Abnahme in der Eigenschaft „Emotionale Stabilität“ vorhersagen. Und auch anders herum: Je weniger gestresst Personen im Alltag auf Widrigkeiten reagierten, desto emotional stabiler wurden sie mit der Zeit – im Fall unserer Studie über insgesamt sechs Jahre.

Psychologische Altersforschung

Personen- und umweltbezogene Aspekte der lebenslangen Entwicklung bilden den Forschungsschwerpunkt der Abteilung Psychologische Altersforschung am Psychologischen Institut der Universität Heidelberg. Darunter sind normative und differenzielle Entwicklungsmuster in sozialen Beziehungen, emotionalen Prozessen, Persönlichkeitseigenschaften und Lebensumwelten im Erwachsenenalter zu verstehen. Die Forschungsprojekte befassen sich beispielsweise mit Veränderungen emotionaler Prozesse über die Lebensspanne, Persönlichkeitsentwicklung im jüngeren und höheren Erwachsenenalter oder Wechselwirkungen zwischen sozialen Beziehungen und Persönlichkeit im Lebensverlauf. Je nach inhaltlichem Schwerpunkt arbeiten die Wissenschaftler:innen mit Kolleg:innen aus den Bereichen Psychologie, Medizin, Informatik und Ökonomie zusammen.

www.psychologie.uni-heidelberg.de/arbeitsseinheit/altersforschung

Obwohl es so naheliegend erscheint, dass alltägliche Erfahrungen und Verhaltensweisen Menschen und ihre Eigenschaften prägen, waren unsere Studien ein Wagnis, und wir fanden beispielsweise für die Eigenschaft „Offenheit für Neues“ keine konsistenten Befunde. Das ist verständlich, weil wir nur maximal 50 Tage innerhalb eines ganzen Jahres untersuchen konnten, also eher kleine Ausschnitte oder Puzzleteile aus dem Alltag der Menschen. Alltagsstudien aus anderen Bereichen messen zum Teil öfter oder erfassen digitales Verhalten am Smartphone über eine längere Zeit nahezu kontinuierlich – etwas, das wir ebenfalls in Studien nutzen –, aber auch das stellt nur einen Ausschnitt aus dem gesamten Alltag dar. Wie können also Verhaltensweisen während 50 oder weniger Tagen Veränderungen über mehrere Monate und Jahre vorhersagen? Die untersuchten Puzzleteile scheinen repräsentativ dafür gewesen zu sein, was Menschen im Alltag erleben und wie sie sich verhielten. Wenn Sie an sich selbst denken: Wenn man Sie während einer typischen Woche beobachten würde, würde man sicher einen ganz guten Eindruck gewinnen, wie zielgerichtet, gelassen, angespannt, zurückhaltend oder durchsetzungsstark Sie meist sind. Sicher gibt es dabei Situationen, in denen Sie angespannter oder zurückhaltender als sonst sind, aber über einige Dutzend Beobachtungen hinweg kämen wir Ihrer Persönlichkeit vermutlich recht nah.

Altersunterschiede in der Persönlichkeitsentwicklung

Wenn nun alltägliche Erfahrungen das Mosaik unserer Persönlichkeit ausmachen, dann sollten alltägliche Erfahrungen mit zunehmendem Alter weniger am Mosaik ändern, das heißt, Eigenschaften sollten sich weniger verändern. So wie zwei, drei neue Steine ein beginnendes Mosaik deutlich verwandeln, während bei vielen bereits vorhanden Steinen drei neue Mosaiksteine den Gesamteindruck kaum beeinflussen. Altersunterschiede in der Persönlichkeitsentwicklung stellen somit einen weiteren zentralen Bereich unserer Forschung dar.

In der Forschung zur Persönlichkeitsentwicklung im Erwachsenenalter hat sich schon früh gezeigt, dass junge Erwachsene

die stärksten Veränderungen hin zu einer reiferen Persönlichkeit zeigen, während danach Veränderungen kleiner sind und Menschen bei den drei Eigenschaften „Emotionale Stabilität“, „Gewissenhaftigkeit“ und „Umgänglichkeit“, die das Reifeprinzip ausmachen, die meiste Lebenszeit auf hohem Niveau bleiben. Diese Befunde haben Psycholog:innen und auch Laien dazu verleitet, anzunehmen, dass sich Menschen im weiteren Erwachsenenalter nicht mehr verändern –

Netzwerk Altersforschung

Im Netzwerk Altersforschung (NAR) gehen seit 2007 Wissenschaftler:innen der Universität Heidelberg aus der Medizin, den Sozial-, Geistes- und Naturwissenschaften sowie der Sportwissenschaft gemeinsam mit Kolleg:innen von Partnereinrichtungen in Heidelberg und Mannheim interdisziplinär einer übergreifenden Forschungsfrage nach: Wie kann gutes Altern gelingen? Zu den Kooperationspartnern gehören neben den Medizinischen Fakultäten Heidelberg und Mannheim der Universität Heidelberg das Deutsche Krebsforschungszentrum, das Zentralinstitut für Seelische Gesundheit in Mannheim und die Universität Mannheim.

Die Forschung umfasst die drei großen Bereiche biologische Grundlagenforschung und medizinische Altersforschung, verhaltens-, geistes- und sozialwissenschaftliche Altersforschung sowie medizinisch-geriatrische und sportwissenschaftliche Interventionsforschung. Ein wichtiges Anliegen ist die Nachwuchsförderung, wofür unter anderem die Graduiertenkollegs „NAR-Kolleg“ und „Menschen mit Demenz im Akutkrankenhaus“ sowie Nachwuchsgruppen unter anderem zu Bewegungsinterventionen und Pharmakoepidemiologie eingerichtet wurden. In enger Kooperation mit dem Psychologischen Institut der Universität Heidelberg fördert das NAR die Professur für Psychologische Altersforschung.

www.nar.uni-heidelberg.de

**„Nach der Pubertät
werden Menschen im
Durchschnitt
emotional stabiler,
zuverlässiger,
umgänglicher und
fürsorglicher –
sozusagen reifer.“**

„Junge Erwachsene werden gewissenhafter und zuverlässiger, wenn sie ins Berufsleben eintreten – sogar mehr als gleichaltrige Studierende.“

ähnlich der Redensart „Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr“.

Um besser zu verstehen, warum sich Eigenschaften mit zunehmendem Alter weniger verändern, sind wir zwei Hypothesen nachgegangen: Einerseits könnten Eigenschaften und insbesondere das Selbstkonzept (Wie gelassen bin ich? Bin ich eher ein nervöser Typ?) mit zunehmendem Alter so gefestigt sein, dass selbst abweichende Verhaltensweisen im Alltag keine starken Veränderungen vorhersagen. Andererseits könnten der Alltag und die Erfahrungen im mittleren und späteren Erwachsenenalter so beständig sein, dass dadurch keine Persönlichkeitsänderungen notwendig sind beziehungsweise hervorgerufen werden. Ein Beispiel verdeutlicht das: Junge Erwachsene erleben viele Lebensereignisse wie beispielsweise Berufseinstieg, Heirat oder Elternschaft. Das bringt häufigere Veränderungen im Alltagskontext mit sich, als es später im Leben der Fall ist, wenn seit etlichen Jahren eine Partnerschaft beziehungsweise Ehe besteht und man demselben Beruf nachgeht. Daher könnte allein der stabilere Kontext erklären, weshalb sich im mittleren und späteren Erwach-

senalter Persönlichkeitseigenschaften weniger verändern.

Aus diesen Überlegungen heraus haben wir drei Gruppen verglichen:

- ältere Erwachsene, deren Alltag sich mit dem Beginn eines Studiums nochmals verändert hat,
- ältere Erwachsene ohne solche Kontextveränderung und
- junge Erwachsene, die ebenfalls ein Studium begannen.

Wir haben dabei sichergestellt, dass die drei Gruppen denselben Bildungshintergrund hatten und die jüngeren und älteren Studierenden ähnliche Fächer bei ähnlichen Dozierenden belegten. Dabei zeigte sich über den untersuchten Zeitraum von zwei Jahren, dass ältere Studierende in manchen Persönlichkeitsveränderungen jüngeren Studierenden ähnlicher waren als älteren Gleichaltrigen. In anderen Eigenschaften, wie beispielsweise „Extraversion“, waren sich jedoch gleichaltrige ältere Menschen ähnlicher. Für uns legen diese Ergebnisse nahe, dass zwar einerseits Eigenschaften, präziser das Selbstkonzept,



PROF. DR. CORNELIA WRZUS leitet seit 2018 die Abteilung für Psychologische Altersforschung, welche Teil sowohl des Psychologischen Instituts der Universität Heidelberg als auch des Netzwerks Altersforschung (NAR) ist. Zuvor forschte sie an der Universität Mainz sowie am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung (Human Development) in Berlin. 2015 erhielt sie den William-Stern-Preis der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (DGPs). In ihrer Forschung untersucht Cornelia Wrzus die Entwicklung von Emotionen, Sozialen Beziehungen und Persönlichkeitseigenschaften im Erwachsenenalter und im hohen Alter.

Kontakt: wrzus@psychologie.uni-heidelberg.de

SET IN STONE?

PERSONAL DEVELOPMENT IN ADULTS

CORNELIA WRZUS

People differ consistently in personality characteristics such as extraversion and conscientiousness. At the same time, these personality characteristics develop continuously throughout adulthood. Understanding behavioural, cognitive, emotional and biological processes that lead to both consistency and change is central for understanding human personality. Furthermore, such knowledge offers valuable starting points for interventions, such as those designed to increase a person's socio-emotional competencies.

Several studies by Prof. Wrzus' team as well as other researchers examined different processes of personality development and demonstrated links between momentary daily experiences and behaviours and changes in personality characteristics over several years. Innovative, smartphone- and PC-based assessments were used to complement established questionnaires regarding experiences and behaviours.

The latest projects aim at understanding the influence of age on the degree of personality change and the processes involved. Initial studies indicate that personality characteristics can change in both early and late adulthood in response to changes in daily contexts. However, for older adults, more repetitions of the changed behaviour or a longer time might be needed, and the final change might still be smaller compared to younger individuals. The way in which age impacts the associated biological processes is another innovative field of research pursued in Heidelberg. With the current portfolio of research fields and methods, Prof. Wrzus and her team aim to understand the heterogeneity and individual plasticity in the socio-emotional development of humans over the adult lifespan. ●

PROF. DR CORNELIA WRZUS has been heading the Department of Psychological Aging Research, which is part of both Heidelberg University's Institute of Psychology and the Network Aging Research (NAR), since 2018. She previously worked at the University of Mainz and at the Max Planck Institute for Human Development in Berlin. In 2015 she was awarded the William Stern Prize of the German Psychological Society (DGPs). Cornelia Wrzus' research focus is the development of emotions, social relationships and personality traits in adulthood and old age.

Contact: wrzus@
psychologie.uni-heidelberg.de

“Personality characteristics change and can be changed, but usually only on a small scale.”

mit zunehmendem Alter an Stabilität im Sinne von Kontinuität gewinnen, aber andererseits noch Raum für Veränderungen, das heißt Plastizität besteht. Dieses Muster sehen wir in der Psychologie beispielsweise auch im Bereich der kognitiven Entwicklung über die Lebensspanne.

Welche Rolle spielt die Epigenetik?

Aktuell gehen wir in mehreren Studien Altersunterschieden in kognitiven Prozessen im Zusammenhang mit Persönlichkeitsentwicklung nach: Uns interessiert, wie Menschen ihre alltäglichen Erfahrungen reflektieren und wie sich das auf die Veränderungen in Eigenschaften auswirkt. Beispielsweise bringen wir Menschen dazu, sich gelassener und gefasster als für sie üblich zu verhalten, und schauen, ob sie dies veranlasst, ihr Selbstbild zu ändern („Anscheinend bin ich doch emotional stabiler, als ich dachte“), oder ob sie ihre Verhaltensänderung der Situation zuschreiben, ohne dass sich ihr Selbstbild ändert. Bildlich gesprochen fragen wir uns, ob Menschen Mosaiksteine, das heißt Erfahrungen, bewusst

in bestimmte Stellen ihres Selbstkonzepts integrieren oder ob sie diese gar willentlich weglassen. In diesem Zusammenhang wollen wir in einer Studie epigenetische Veränderungen erfassen, also Veränderungen in Genaktivität. Das soll uns Antworten darauf geben, ob Verhaltensänderungen sozusagen auch auf biologischer Ebene gespeichert werden und dadurch dazu beitragen, dass veränderte Verhaltensmuster zu stabilen Eigenschaftsänderungen führen.

Kerngedanke ist dabei immer, dass Persönlichkeitsentwicklung im Erwachsenenalter sowohl durch Kontinuität gekennzeichnet ist, die für die Identität eines Menschen wichtig ist, als auch Raum für Veränderungen bietet. Das heißt, Persönlichkeitseigenschaften sind nicht hart wie Stein, nicht weich wie Butter, sondern formbar durch unsere alltäglichen Erfahrungen – im Guten wie im Schlechten. Dazu passt das Sprichwort: Achte auf deine Handlungen, denn sie werden Gewohnheiten. Achte auf deine Gewohnheiten, denn sie werden dein Charakter. ●

„Alltägliche
Erfahrungen
machen
das Mosaik
unserer
Persönlichkeit
aus.“

Herausgeber

Universität Heidelberg
Der Rektor
Kommunikation und Marketing

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Peter Comba (Vorsitz)
Prof. Dr. Beate Ditzgen
Prof. Dr. Nikolas Jaspert
Prof. Dr. Marcus A. Koch
Prof. Dr. Alexander Marx
Prof. Dr. Dr. h.c. Thomas Pfeiffer
Prof. Dr. Joachim Wambgsanß
Prof. Dr. Reimut Zohlnhöfer

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://heiup.uni-heidelberg.de/journals/index.php/ruptocarola>



EXPERIMENTALPHYSIK
SCHATTENRISSE
VON HARTEM UND WEICHEM LICHT
WOLFRAM PERNICE

116



INFEKTIOLOGIE
MANCHE MÖGEN'S HART
DIE MOLEKULARE ACHILLESFERSE DES MALARIAERREGERS
FRIEDRICH FRISCHKNECHT & CARMEN RUIZ DE ALMODÓVAR

124



TECHNISCHE INFORMATIK
DER ZUKUNFT VORAUS
IM SPANNUNGSFELD VON HARD- UND SOFTWARE
HOLGER FRÖNING

132



HERZ-KREISLAUF-FORSCHUNG
FRESEN UND GEFRESSEN WERDEN
NÜTZLICHE KANNIBALEN
KAI-UWE JARR

142

KAPITEL

IV

SCHATTEN

RISSE

SCHATTENRISSE

VON HARTEM UND WEICHEM LICHT

WOLFRAM PERNICE

Winzige Schaltkreise, die mit Lichtteilchen bestückt sind, lassen auf Hochleistungscomputer hoffen, die der Funktionsweise des menschlichen Gehirns nahekommen. Die optischen Hardwarealternativen eröffnen die Möglichkeit für faszinierende Anwendungen, beispielsweise im Bereich der Künstlichen Intelligenz.

A

Aus der Fotografie ist die Wirkung von hartem und weichem Licht gut bekannt. Mit hartem Licht lässt sich die Umgebung mit klar definierten scharfen Konturen im Schattenwurf ausleuchten. Weiches Licht macht das Bild diffuser und lässt Umrisse verschwimmen. Ausschlaggebend für den jeweiligen Effekt ist die Größe der Lichtquelle im Vergleich zum beleuchteten Objekt: Eine relativ kleine Lichtquelle führt zu harter Schattenbildung, eine ausgedehnte Lichtquelle zu weicheren, unschärferen Konturen.

Das Spiel mit Schärfe und Unschärfe erlaubt nicht nur der visuellen Kunst eindrucksvolle Gestaltungsmöglichkeiten. Scharfe Konturen sind auch erwünscht, wenn es darum geht, definierte Strukturen für die Halbleitertechnik auf sehr kleinen Längenskalen zu schaffen. Die Beugung des Lichts an sehr kleinen Strukturen führt allerdings dazu, dass klare Muster aufweichen, was immer dann geschieht, wenn die Größenordnungen im Bereich der optischen Wellenlänge und somit auf der Nanoskala liegen. Diese Beugungseffekte geben die minimale Auflösung vor, die sich bei der Belichtung mit einer gegebenen Wellenlänge oder Farbe des Lichts erreichen lässt. Zum Erreichen sehr feiner Nanostrukturen oder sehr dicht gepackter Muster wäre wirklich hartes Licht ideal geeignet. Zumal Licht nicht nur die Konturen, sondern auch die Eigenschaften der belichteten Materialien beeinflusst, etwa bei der Fotolithografie, einer wichtigen Methode zur Herstellung von Halbleiterbauelementen.

Um Nanomuster zu erzeugen, werden in der Halbleitertechnik Fotolacke benutzt. Die Löslichkeit der Fotolacke hängt davon ab, wie sie belichtet werden: Es gibt Lacke, die bei Belichtung aushärten oder sich chemisch vernetzen; und es gibt Lacke, die aufweichen, wenn sie Licht einer bestimmten Wellenlänge ausgesetzt sind. Aushärtende Lacke eignen sich zum Schutz von Materialien; aufweichende Lacke dienen beispielsweise dazu, Bereiche zu definieren, in denen weitere Prozessschritte erfolgen sollen. Die raffinierte Abfolge von Belichtungen mit beiden Fotolacksorten ist die Grundlage zur Herstellung von Nanostrukturen, die elektrische oder optische Signale verarbeiten und als integrierte Bausteine (Chips) für die Elektronik und die Optik genutzt werden können.

Vorbild: das menschliche Gehirn

Für die sogenannte integrierte Optik, also die Optik auf Chipbasis, wie wir sie in unserer Arbeitsgruppe am Kirchhoff-Institut für Physik entwickeln, werden üblicherweise Nanostrukturen angestrebt, die kleiner als ein Mikrometer sind. Zum Vergleich: Ein Haar hat einen Durchmesser von etwa 50 Mikrometern. Licht kann mithilfe sogenannter Wellenleiter in sehr kleine Nanostrukturen eingeführt werden. Das macht Schaltkreise möglich, in denen keine Elektronen, sondern Lichtteilchen – Photonen – wirken. Solche „photonischen Schaltkreise“ sind für alle Anwendungen interessant, bei denen es darum geht, Daten sehr schnell und ohne großen Energieaufwand zu verarbeiten. Dies öffnet das Tor für völlig neue optische Rechnerarchitekturen, die nicht wie traditionelle elektronische Computer arbeiten, sondern der Funktionsweise des menschlichen Gehirns nachempfunden sind. Der Schwerpunkt unserer Arbeitsgruppe liegt in der Entwicklung und Verbesserung dieser Rechnerarchitekturen.

Die von der Bau- und Arbeitsweise des menschlichen Gehirns inspirierten „neuromorphen Rechner“ sind wichtig, um Hardware für die Künstliche Intelligenz (KI) bereitzustellen. KI-Anwendungen sind bereits in vielen Bereichen unseres Alltags angekommen. Sie helfen beispielsweise bei der

Spracherkennung, verschlüsseln Daten auf dem Smartphone, unterstützen Suchfunktionen, dienen zur Mustererkennung im Internet und sind unerlässlich für die Sicherheit beim autonomen Fahren. All diese Anwendungen stellen herkömmliche elektronische Rechner vor enorme Herausforderungen, weil bei ihnen die Datenspeicherung und Datenverarbeitung getrennt erfolgen. Diese Art der elektronischen Architektur macht es notwendig, Daten kontinuierlich über spezielle Systeme, sogenannte Bussysteme, auszutauschen, was zu einer sequenziellen Taktung führt und den Datendurchsatz begrenzt. Das menschliche Gehirn geht mit Daten vollkommen anders um: Sie werden lokal mit sehr hoher Parallelität verarbeitet, die Verarbeitung erfolgt zudem oft analog, also kontinuierlich, und nicht digital, also in Stufen. Das ist für alle Rechenoperationen wichtig, die in der KI benötigt werden. Die von uns erforschten „photonischen neuromorphen Rechner“ versprechen, diese hohen Ansprüche zu erfüllen.

Rechnen mit Licht

Photonische neuromorphe Rechner benutzen Licht, um Additionen und Multiplikationen als elementare mathematische Rechenoperationen durchzuführen. Die eigentliche Rechenaufgabe wird in die Codierung der miteinander zu verrechnenden Zahlen sowie in die Messung des Ergebnisses übersetzt. Photonische neuromorphe Rechner können dies in einem einzigen Schritt erledigen, weil Lichtteilchen im Unterschied zu Elektronen viele Freiheitsgrade aufweisen, die eine inhärente, gleichzeitige Datenverarbeitung zulassen – das ist der besondere Charme optischer Rechenverfahren. Bei elektronischen Systemen ist es notwendig, viele Einzeloperationen nacheinander auszuführen.

Zur Datenübertragung mithilfe von Glasfasern wird beispielsweise die Wellenlänge des Lichts ausgenutzt, damit Daten auf vielen Farben gleichzeitig über dieselbe Glasfaser ausgetauscht werden können. Dieses Prinzip lässt sich auch für photonische Rechner verwenden: Unterschiedliche Rechenoperationen werden auf unterschiedliche Farben codiert und parallel im selben optischen Rechensystem durchgeführt. Die parallele Verarbeitung bietet enorme Geschwindigkeitszuwächse in der Taktfrequenz – die Berechnungen erfolgen gleichsam mit Lichtgeschwindigkeit. Photonische Rechner können nicht nur deutlich schneller rechnen als elektronische Systeme, sie können darüber hinaus in einer Dimension skaliert werden, die traditionellen Rechnern grundsätzlich nicht verfügbar ist.

Photonische Schaltungen können dank der Fortschritte der Materialwissenschaft und der integrierten Optik heute am Rechner entworfen, simuliert und anschließend in Fertigungsfabriken oder auch bei uns im Reinraum in Heidelberg hergestellt werden. Der Fertigung photonischer Schaltungen kommt die bereits langjährige Erfahrung bei der Herstellung elektronischer Schaltungen zugute. Glücklicherweise kann auf Silizium als Wellenleitermaterial zurückgegriffen werden –

**„Das Spiel mit
Schärfe und
Unschärfe erlaubt
nicht nur der
visuellen Kunst
eindrucksvolle
Gestaltungsmög-
lichkeiten.“**

„Photonische neuromorphe Rechner benutzen Licht, um Additionen und Multiplikationen als elementare mathematische Rechenoperationen durchzuführen.“

auch das weist eine hohe Kompatibilität mit den Methoden der Halbleiterindustrie auf. Das Bereitstellen all dieser Kapazitäten erlaubt es, einzelne Bausteine zu großflächigen Systemen zusammenzufassen. Für das optische Rechnen bedeutet dies: Kleine Schaltkreise werden zu mächtigen Rechenwerken zusammengeschaltet, die viele Multiplikationen und Additionen parallel ausführen. Dies geschieht mithilfe von Rechengittern oder Matrizen; die Eingänge der zu multiplizierenden Zahlen liegen parallel als Vektoren vor. Auf diese Weise können Matrix-Vektor-Rechnungen mithilfe von Licht in Chipform durchgeführt werden – mit sehr hohem Datendurchsatz und sehr geringem Energieaufwand.

Faszinierende Anwendungen

Schon heute werden in der KI künstliche Nervenzell-Netzwerke für kognitive Prozesse eingesetzt. Matrix-Vektor-Multiplikationen sind in diesen neuronalen Netzwerken zentrale Berechnungen: Sie müssen immer wieder durchgeführt werden, was sehr viel Zeit und Energie kostet. Um Zeit und Energie zu sparen, versuchen wir, die zentralen Rechenschritte von speziellen Beschleunigersystemen ausführen zu lassen, die für diese Art von Rechenoperationen optimiert sind und sie für weitere Berechnungen effizient verfügbar machen können. Hier kommen photonische Hardwarebeschleuniger ins Spiel: Sie erlauben eine sehr rasche

Datenverarbeitung und stellen langfristig eine sehr große Rechenkapazität bereit.

Photonische Rechner sind für spezielle Operationen sehr gut geeignet, wieder andere Operationen lassen sich besser in elektronischer Hardware abbilden. Ideal wären „hybride Rechner“, die elektronisch arbeiten und zugleich photonische Beschleuniger enthalten. Bislang gestaltet es sich noch schwierig, photonische Beschleuniger in existierende elektronische Rechensysteme zu integrieren. Diese Ansätze sind jedoch attraktive Modelle für künftige Hochleistungsrechner, die wir erforschen, um den Rechenhunger neuer KI-Anwendungen auch langfristig zu stillen.

Die sehr hohen Verarbeitungsgeschwindigkeiten machen photonische Rechenmodule beispielsweise für die Objekterkennung beim autonomen Fahren interessant – eine wesentliche Sicherheitsvoraussetzung. Dazu erfassen Kamera- und Sensorsysteme die Umgebung, und der Rechner muss die Daten interpretieren, damit auf das Fahrgeschehen dynamisch reagiert werden kann. KI-Verfahren, insbesondere neuronale Netzwerke, sind hierfür ein zentraler Bestandteil. Wie schnell das Gesamtsystem reagiert, wird von der Rechenzeit der Systemkomponenten bestimmt: Je schneller die Objekterkennung erfolgt, desto schneller kann das Fahrzeug korrigiert werden – die Beschleunigersysteme beeinflussen



PROF. DR. WOLFRAM PERNICE ist seit Oktober 2021 Professor für Experimentalphysik am Kirchhoff-Institut für Physik der Universität Heidelberg. Nach dem Studium der Mikrosystemtechnik an der Universität Freiburg und der Promotion an der University of Oxford (Großbritannien) forschte er zunächst an der Yale University (USA) und dann am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), bevor er auf eine Professur an die Universität Münster berufen wurde. Schwerpunkte seiner Forschung liegen in der Nanophotonik und der Realisierung integrierter optischer Schaltungen für die Künstliche Intelligenz und das optische Quantenrechnen.

Kontakt: wolfram.pernice@kip.uni-heidelberg.de

SHADOW'S EDGE

HARD AND SOFT LIGHT

WOLFRAM PERNICE

Photographers use light sources of different sizes to control the hardness of the shadow cast by an object. Hard shadows with defined edges are created by hard light, soft shadows with blurred edges by soft light. In lithography, an important process in the production of semiconductor elements, edge definition is determined by the semiconductor scale and the properties of light, and limited by diffraction effects that occur at length scales equalling the wavelengths of light. At the same time, certain material properties change with exposure to light, such as the solubility of the photoresists used in lithography.

Our research group uses such photo-sensitive material properties to create programmable nanostructures that form the basis of novel photonic computing platforms in which electrons, i.e. current, are replaced by light. With the photonic computing methods at the centre of our research, important computing operations that are relevant for artificial neuronal networks and artificial intelligence can be carried out very quickly and with high energy efficiency. This approach makes use of the fact that light offers new degrees of freedom, not available to electronic computers, to process massive amounts of information simultaneously and at high clock speeds.

The underlying architecture is based on the functioning of neurons and the human brain, which do not differentiate strictly between data storage and data processing. Such “neuromorphic” computing methods inspired by the brain promise to enable new applications in autonomous driving, in the training of artificial neuronal networks or in the ultra-fast processing of telecommunication signals. In these applications, soft and hard material properties provide the basis for the implementation of purely optical, ultra-fast matrix-vector multipliers that can be used as hardware accelerators in the development of artificial intelligence. ●

PROF. DR WOLFRAM PERNICE is Professor of Experimental Physics at Heidelberg University's Kirchhoff Institute, which he joined in October 2021. He studied microsystems technology at the University of Freiburg and obtained his doctorate from the University of Oxford (UK), then worked as a researcher at Yale University (USA) and at the Karlsruhe Institute of Technology (KIT), before accepting a professorship at the University of Münster. Wolfram Pernice's research interests are nanophotonics and the building of integrated optical circuits for artificial intelligence applications and optical quantum computing.

Contact: wolfram.pernice@kip.uni-heidelberg.de

“Photonic hardware accelerators permit ultra-fast data processing and will, in the long term, lead to a significant increase in computing capacity.”

die Sicherheit des Gesamtsystems also unmittelbar. Weitere interessante Anwendungen bietet das Training neuronaler Netzwerke, was sehr zeit- und energieaufwendig ist. Hierzu können photonische Matrix-Vektor-Multiplikatoren genutzt werden. Sie bieten den Vorteil des hohen Datendurchsatzes, sie können effizient an unterschiedliche Anforderungen angepasst werden, und sie tragen wesentlich zu einer Reduktion des Energieverbrauchs bei.

Auch die Reprogrammierung photonischer Rechner kann in vielfältiger Weise erfolgen. Eine elegante Lösung bietet sich über Phasenwechselmaterialien an, wie sie auf wieder beschreibbaren DVDs verwendet werden. Liegen diese Materialien als harte Kristalle vor, sind sie metallähnlich; ist die Kristallstruktur ungeordnet oder amorph, sind die Materialien glasähnlich und transparent. Beide Zustände lassen sich sehr akkurat durch die Belichtung mit kurzen Laserpulsen einstellen. Die Änderung des Materialzustands wird als Grundprinzip für die optische Datenspeicherung auf DVDs genutzt, wozu die Multiplikatoren der Materialeigenschaft codiert werden: Metallähnliche, harte Kristallzustände bedeuten eine logische Null, glasähnliche oder weiche Kristallzustände stellen eine logische Eins dar. Die einmal eingestellten Zustände bleiben über sehr lange Zeiträume bis hin zu Dekaden erhalten, ohne dass eine externe Energiezufuhr erforderlich ist. Nicht zuletzt ist es für praktische Anwendungen attraktiv, dass bereits sehr kleine Strukturen eines Phasenwechselmaterials über den benutzten Wellenleiter sehr große Auswirkungen auf Licht haben. Das erlaubt es uns, die Größe der Bauteile zu reduzieren und den Platz auf einem Chip effektiv zu nutzen.

Weiche und Härte von Licht umreißen ein faszinierendes Spannungsfeld: einerseits die präzise Strukturbildung mithilfe der Eigenschaften des Lichts, andererseits das Einstellen des Härtegrads von Materialien durch Lichtmodifikationen. Das geschickte Ausnutzen dieses Wechselspiels macht es uns möglich, neue Verfahren der Lithografie und neue optische Methoden für die Datenverarbeitung zu konzipieren. Besonders spannend sind die Übergangsbereiche zwischen beiden Extremen, etwa gemischte Zustände von Phasenwechselmaterialien, die sowohl geordnete kristalline als auch ungeordnete Komponenten enthalten. Ausgestattet mit diesem Werkzeugkasten lassen sich dann gewiss selbst die härtesten Probleme des Designs von Rechnerarchitekturen angehen. ●

„Photonische Hardwarebeschleuniger erlauben eine sehr rasche Datenverarbeitung und stellen langfristig eine sehr große Rechenkapazität bereit.“

**MANCHE
MOGEN'S**

HART

MANCHE MÖGEN'S HART

DIE MOLEKULARE ACHILLESFERSE DES MALARIAERREGERS

FRIEDRICH FRISCHKNECHT & CARMEN RUIZ DE ALMODÓVAR

Auf seinem langen Weg durch den menschlichen Körper scheint der Erreger der Malaria den Kontakt mit weichen Oberflächen zu meiden – lieber sind ihm härtere Strukturen. Diese Erkenntnis der Grundlagenforschung am Heidelberger Zentrum für Infektiologie eröffnet neue Chancen, die schwere Infektionskrankheit zu verstehen – ein weiterer Erfolg in der langen Tradition der Malariaforschung an der Universität Heidelberg.

S

Schleimige Würmer, bösartige Insekten, schwere Krankheiten – die Assoziationen, die der Begriff „Parasit“ üblicherweise erweckt, sind wenig schmeichelhaft. Biologisch betrachtet ist der Parasitismus eine der erfolgreichsten Lebensformen, was kaum verwundert, weiß man von den vielen Kunststücken, die Parasiten meisterhaft beherrschen und nutzen, um ihre Fortpflanzung und Verbreitung zu sichern. Zu den am besten erforschten Parasiten zählt der Erreger der Malaria, eine der weltweit gefährlichsten Infektionskrankheiten. Jährlich erkranken über 200 Millionen Menschen daran, mehr als 500.000 von ihnen sterben, zumeist kleine Kinder.

Früher war die Erkrankung auch hierzulande verbreitet; bis in die 1970er-Jahre hinein gab es sie noch in Westeuropa und den USA, heute aber kommt die Malaria ausschließlich in den Tropen vor. Eine Tropenkrankheit im eigentlichen Sinne ist die Malaria jedoch nicht, sondern eine Krankheit der Armut. Das zeigt das Beispiel

Costa Rica – ein tropisches Land, in dem es im Unterschied zu seinem nördlichen Nachbarland Nicaragua so gut wie keine Malaria mehr gibt: Denn Costa Rica kann es sich leisten, Autos und Lastwagen, die über die Grenze fahren, mit Insektiziden zu besprühen.

Die im ausgehenden 19. Jahrhundert gemachte Entdeckung, dass die Parasiten von Mücken übertragen werden, war entscheidend dafür, wirksame Strategien gegen die Krankheit zu entwickeln. Um die Malaria jedoch noch weiter zurückzudrängen, sind neue Medikamente sowie effektive Impfstoffe erforderlich. Dazu müssen wir besser verstehen, wie der Parasit mit seinen beiden „Wirten“ – der Mücke und dem Menschen – interagiert. Ein Schwerpunkt unserer Arbeiten im Zentrum für Infektiologie der Universität Heidelberg sind die verschiedenen Bewegungsformen des Parasiten. Insbesondere interessieren wir uns dafür,

wie der Parasit auf seinem komplizierten Lebensweg mit Strukturen des Mücken- und Menschenkörpers Kontakt aufnimmt – und was man aus diesen Erkenntnissen lernen kann, um ihn aufzuhalten.

Porträt eines Erregers

Der Malariaerreger – ein einzelliger Parasit mit dem wissenschaftlichen Namen Plasmodium – wird von der Stechmücke Anopheles auf den Menschen übertragen. Im menschlichen Körper durchläuft der Erreger einen komplexen Lebenszyklus, zu dem ihm sehr unterschiedliche Bewegungsformen verhelfen: Er wandert auf gewundenen Pfaden durch die Haut, treibt im Blut, bohrt sich in die Leber und dringt in rote Blutkörperchen ein. Ein besseres Verständnis dieser Bewegungsformen – und der Moleküle, die dem Krankheitserreger zu einem erfolgreichen Abschluss seines Lebenszyklus verhelfen – könnte gänzlich neue Wege im Kampf gegen die Malaria eröffnen.

Die molekularbiologische Forschung hat bestimmte Proteine auf der Oberfläche der Parasiten erkannt, mit denen er mit seiner Umgebung in Kontakt tritt. Nicht nur biochemische, auch physikalische Variationen dieser Oberflächenproteine spielen bei der Interaktion eine Rolle: Mühelos scheint sich der Parasit an die unterschiedlichsten sowohl weichen als auch harten Strukturen anpassen zu können, denen er auf seinem Weg durch Mücke und Mensch begegnet. Wissenschaftler haben den sich ständig verändernden parasitären Formen verwirrende Namen gegeben, auf die wir in diesem Beitrag weitgehend verzichten möchten. Stattdessen wollen wir die Wege nachvollziehen, die der Parasit durch den Körper von Mücke und Mensch nimmt, und seine „Achillesferse“ aufzeigen.

Beim Stich der Mücke gelangen die Parasiten in das Unterhautgewebe des Menschen. Dort bewegen sie sich sehr schnell weiter fort und wandern in Lymph- und Blutgefä-

„Die Malaria ist eine der weltweit gefährlichsten Infektionskrankheiten. Jährlich erkranken über 200 Millionen Menschen daran, mehr als 500.000 von ihnen sterben – zumeist kleine Kinder.“

ße ein. Die Parasiten, die in ein Lymphgefäß geraten, haben Pech: Sie werden von Immunzellen zerstört, die in den Lymphknoten auf gefährliche Eindringlinge warten. Nur diejenigen Parasiten, denen es gelungen ist, in ein Blutgefäß einzudringen, haben eine Chance, mit dem Blutstrom zu ihrem eigentlichen Ziel, der Leber, zu gelangen. Dort angekommen, dringen sie in die Leberzellen ein, vermehren sich in ihnen und gelangen, in kleine Bläschen verpackt, erneut ins Blut, wo sie nun die roten Blutkörperchen befallen. Während sich die Parasiten rasant vermehren, versteifen die ansonsten sehr elastischen und flexiblen Blutkörperchen. Diese Veränderung wäre eigentlich ein Grund, von der Milz umgehend aussortiert zu werden, was das Ende des Lebensweges der Parasiten bedeuten

Sonderforschungsbereich 1129

Der Sonderforschungsbereich „Integrative Analyse der Replikation und Ausbreitung pathogener Erreger“ (SFB 1129) untersucht die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Erreger- und Wirtsorganismen, die zur Vermehrung und Ausbreitung oder aber zur Hemmung einer Infektion führen. Dabei geht es um die Berücksichtigung der unterschiedlichen Komplexitätsebenen und Größenordnungen, die für den Infektionsvorgang relevant sind. Langfristig sollen in der Zusammenführung unterschiedlicher Disziplinen neue Methoden zur Krankheitskontrolle entwickelt werden. Koordiniert wird der Sonderforschungsbereich an der Medizinischen Fakultät Heidelberg. Neben Forscher:innen aus der Infektiologie sind Wissenschaftler:innen der Bereiche Physik, Chemie, Biowissenschaften und Ingenieurwissenschaften der Universität sowie des European Molecular Biology Laboratory (EMBL), des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung und des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ) beteiligt. Sprecher des SFB ist Prof. Dr. Hans-Georg Kräusslich, Dekan der Medizinischen Fakultät Heidelberg und Sprecher des Zentrums für Infektiologie.

www.sfb1129.de

„Über die Proteinbindungspartner der Wirte wissen wir im Unterschied zu den Proteinen der Parasiten bislang nur wenig.“

würde. Doch auch das können die Erreger mit einem Trick verhindern: Die ins Innere der Blutkörperchen gelangten Parasiten positionieren eigene Proteine auf der Oberfläche der roten Blutzellen. Das führt dazu, dass die roten Blutkörperchen an den Innenwänden von Gefäßen im Gewebe und in verschiedenen Organen haften bleiben. Unter dem Mikroskop lässt sich das gut beobachten: Die infizierten Blutzellen rollen zunächst an den Gefäßinnenwänden entlang, um dann regelrecht mit ihnen zu verkleben. Dies kann mit dem Verstopfen von kleinen Blutgefäßen enden und zu Organversagen und Tod führen.

Während sich die Parasiten in den Blutzellen des Menschen vermehren, wandeln sie sich in männliche und weibliche Formen um. Wenn nun eine Mücke einen infizierten Menschen sticht und dessen Blut saugt, entstehen im Körper der Mücke schnell männliche und weibliche Keimzellen, die einander befruchten und dann eine bewegliche Eizelle bilden. Diese Eizelle dringt in die Magenwand der Mücke ein. Dort bildet sie eine Zyste, in der pro Eizelle Hunderte bis Tausende weiterer Parasiten heranreifen. Aus der Zyste in der Magenwand

gelangen die Erreger in die Speicheldrüsen der Stechmücke – und von dort über den Stich der Mücke wieder in den Körper des Menschen. Das ist ein sehr langer und komplizierter Lebensweg, den nur sehr gut angepasste Parasiten mit jeweils spezifischen Oberflächenproteinen überstehen.

Molekulare Angriffsziele

Eines der Oberflächenproteine, das dem Malariaerreger dazu verhilft, sich derart erfolgreich an die unterschiedlichsten Bedingungen auf seinem Lebensweg anzupassen, ist CSP, das Protein, aus dem der erste Malariaimpfstoff namens RTS,S kreiert wurde. Ohne CSP (Circumsporozoite-Protein) verenden die Parasiten in den Zysten des Mückenmagens. Die Weltgesundheitsorganisation hat die Vakzine RTS,S im Jahr 2021 im Kampf gegen Malaria empfohlen, die Effektivität des Impfstoffs ist jedoch vergleichsweise niedrig. Ein anderes Oberflächenprotein mit dem Kürzel MSP1 (Merozoite Surface Protein-1) wurde von dem im Jahr 2020 verstorbenen Heidelberger Parasitologen Hermann Bujard als Grundlage für einen Impfstoff erforscht: Ohne MSP1 können die Parasiten nicht in die roten Blutkörperchen eindringen.



PROF. DR. FRIEDRICH FRISCHKNECHT studierte Biochemie an der Freien Universität Berlin und wurde dort zu Arbeiten an Pockenviren promoviert, die er am Europäischen Molekularbiologischen Laboratorium (EMBL) in Heidelberg durchführte. Es folgte ein vierjähriger Aufenthalt als Postdoktorand am Institut Pasteur in Paris (Frankreich), wo er seine Forschungen zu Malaria aufnahm. Von 2005 an baute Friedrich Frischknecht am Universitätsklinikum Heidelberg seine Arbeitsgruppe auf, seit 2014 ist er Professor für Integrierte Parasitologie am Zentrum für Infektiologie der Medizinischen Fakultät Heidelberg und Mitglied und stellvertretender Sprecher des Sonderforschungsbereichs 1129. Seine Arbeiten zur Malariaforschung wurden mit einem Starting Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) in Höhe von rund 1,5 Millionen Euro gefördert. Die im Beitrag beschriebenen Arbeiten wurden weitgehend von Johanna Ripp und Jessica Kehrer durchgeführt.

Kontakt: freddy.frischknecht@med.uni-heidelberg.de

Ein weiteres Oberflächenprotein des Parasiten ist CTRP (Circumsporozoite Protein and Thrombospondin-Related adhesive Protein): Parasiten, denen CTRP fehlt, schaffen es nicht, den Mückenmagen zu durchwandern. Ohne TRP1 (Thrombospondin-Related Protein 1) wiederum kommt der Parasit nicht aus der Zyste heraus, und ohne TRAP (Thrombospondin-Related Adhesion Protein) rutscht der Parasit nurmehr hilflos hin und her, erreicht nicht die Speicheldrüse der Mücke und kann beim nächsten Stich nicht auf den Menschen übertragen werden. Unsere Annahme ist, dass der Parasit all diese unterschiedlichen Proteine benötigt, um sich jeweils mit bestimmten Proteinen seiner Wirte zu verbinden, sei es im Magen oder in der Speicheldrüse der Mücke oder im Blut oder der Leber des Menschen. Nur dann kann er in die Organe seiner Wirte eindringen und sie zu seiner Vermehrung nutzen. Über die Proteinbindungspartner

der Wirte wissen wir jedoch im Unterschied zu den Proteinen des Parasiten bislang nur wenig.

Was wir jedoch wissen, ist, dass sich die Organe und ihre Zellen nicht nur in ihrer biochemischen Zusammensetzung, sondern auch in ihren physikalischen Eigenschaften unterscheiden: Die Zellen der Leber und der Haut beispielsweise sind nicht so zart und weich wie die Zellen des Endothels, der einlagigen Schicht, die Blutgefäße von innen schützend wie eine Tapete auskleidet. Auch die roten Blutkörperchen unterscheiden sich in ihren elastischen Eigenschaften, und bei Untersuchungen stellte sich heraus, dass die Parasiten nur in relativ weiche Blutkörperchen eindringen können. In Ostafrika gibt es Menschen, deren rote Blutkörperchen aufgrund einer genetischen Veränderung versteift sind: Das erschwert es dem Parasiten, in die roten Blutzellen einzudringen,



PROF. DR. CARMEN RUIZ DE ALMODÓVAR war bis Anfang 2022 Professorin für Vasculäre Dysfunktion an der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg, bevor sie als Direktorin des Instituts für Neurovasculäre Zellbiologie an die Universität Bonn wechselte. Nach einem Studium der Biochemie an der Universität Granada (Spanien) wurde sie 2004 am Institut für Parasitologie und Biomedizin in Granada mit Arbeiten zum Zelltod (Apoptose) von Tumorzellen promoviert. Anschließend arbeitete sie als Postdoktorandin am Flämischen Institut für Biotechnologie in Leuven (Belgien), wo sie sich auf vasculäre Biologie und neurovasculäre Interaktionen spezialisierte. 2011 wechselte sie als Juniorforschungsgruppenleiterin an das Biochemie-Zentrum der Universität Heidelberg (BZH), 2018 übernahm sie ihre Professur an der Medizinischen Fakultät Mannheim. Carmen Ruiz de Almodóvars Forschungsarbeiten an der Universität Heidelberg wurden mit einem Starting Grant und einem Consolidator Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) in Höhe von rund 1,5 Millionen Euro beziehungsweise zwei Millionen Euro gefördert.

Kontakt: carmen.ruizdealmodovar@medma.uni-heidelberg.de

„Auf den härteren Gelen bewegen sich die Parasiten ohne jede Probleme; auf den weichen Gelen aber gelingt ihnen das nicht.“

SOME LIKE IT HARD

THE MOLECULAR ACHILLES' HEEL OF THE MALARIA PARASITE

FRIEDRICH FRISCHKNECHT & CARMEN RUIZ DE ALMODÓVAR

The word “parasite” invokes many, and quite different, connotations. Images of severe disease, slimy worms, evil-looking insects and complicated life cycles appear before our inner eye. In actual fact, parasitism is the most successful, and hence a perfectly normal, way of life for organisms. It should come as no surprise, then, that parasites resort to a number of interesting tricks in order to propagate. One of the most extensively researched parasites is the pathogen causing malaria, a disease that once ran rampant in Heidelberg, but is now confined to the tropics and which is transmitted by mosquitoes of the genus *Anopheles*.

To successfully navigate its complex life cycle, the parasite must pass through several different organs in the mosquito and in its human host. Sometimes it is carried along in the bloodstream, or the infected red blood cell rolls along the walls of blood vessels. Other times, it traverses the skin on winding paths or slips into the liver. Understanding these forms of movement and the proteins they involve in humans and in the parasite could lead to the development of new strategies in the fight against malaria. Our research teams focused their investigations on the form of the parasite that is injected into the human host by the mosquito, travels through the skin and bores into the liver cells. We were particularly interested in the interaction between the parasite and the walls of blood vessels. How does the parasite manage to pick the liver, of all organs? We discovered that the parasite slips off the soft vascular walls and is carried along through all of the organs, only to finally “get stuck” in the liver. ●

PROF. DR FRIEDRICH FRISCHKNECHT studied biochemistry at Freie Universität Berlin and earned his doctorate with research on smallpox viruses, which he carried out at the European Molecular Biology Laboratory (EMBL) in Heidelberg. He spent four years as a postdoc at the Institut Pasteur in Paris (France), where he developed an active interest in malaria. From 2005 onward, Friedrich Frischknecht built his research team at Heidelberg University Hospital. In 2014 he was appointed Professor of Integrative Parasitology at the Centre of Infectiology of the Medical Faculty Heidelberg and became a member and vice-spokesperson of Collaborative Research Centre 1129. His malaria research was funded through a Starting Grant of the European Research Council (ERC) to the tune of roughly 1.5 million euros. The investigations described in the article were carried out primarily by Johanna Ripp and Jessica Kehrer.

Contact: freddy.frischknecht@med.uni-heidelberg.de

PROF. DR CARMEN RUIZ DE ALMODÓVAR was a Professor of Vascular Dysfunction at Heidelberg University's Medical Faculty Mannheim until early 2022, when she transferred to the University of Bonn to become the new Director of the Institute of Neurovascular Cell Biology. She studied biochemistry at the University of Granada (Spain) and earned her doctorate at the Institute of Parasitology and Biomedicine in Granada in 2004 with a thesis on the cell death (apoptosis) of tumour cells. She then worked as a postdoctoral fellow at the Flemish Institute of Biotechnology (VIB) in Leuven (Belgium), where she specialised in vascular biology and neurovascular interactions. In 2011 she became head of a junior research group at Heidelberg University Biochemistry Center (BZH), and in 2018 accepted her chair at the Medical Faculty Mannheim. Carmen Ruiz de Almodóvar's research at Heidelberg University was funded through a Starting Grant and a Consolidator Grant of the European Research Council (ERC) amounting to roughly 1.5 million euros and two million euros, respectively.

Contact: carmen.ruizdealmodovar@medma.uni-heidelberg.de

“Parasites can move perfectly well on the harder gels, but are unsuccessful on the softer ones.”

Malariaforschung in Heidelberg

Die Malariaforschung an der Universität Heidelberg, der sich Arbeitsgruppen aus unterschiedlichen Fachgebieten widmen, hat eine lange Tradition mit einigen Meilensteinen: So begann der 2020 verstorbene frühere Direktor des Zentrums für Molekulare Biologie der Universität Heidelberg (ZMBH), Prof. Dr. Hermann Bujard, bereits in den 1980er-Jahren mit Forschungen zur Entwicklung eines Impfstoffs gegen Malaria, die er auch nach seiner Emeritierung 1999 weiterführte. Auf der Grundlage identifizierter Oberflächenproteine des Parasiten Plasmodium, die bei malariainfizierten Patient:innen eine Immunantwort auslösen, entwickelte die Arbeitsgruppe des Molekularbiologen schließlich einen Impfstoffkandidaten. Dieser wurde 2018 in der Abteilung Klinische Pharmakologie und Pharmakoepidemiologie des Universitätsklinikums Heidelberg erfolgreich auf Sicherheit, Verträglichkeit und die Fähigkeit zur Antikörperbildung hin getestet. Der 2016 verstorbene Mediziner und Biochemiker Prof. Dr. Heiner Schirmer, der lange am Biochemie-Zentrum der Universität Heidelberg (BZH) forschte und lehrte, entwickelte Methylenblau-basierte Medikamentenkombinationen gegen Malaria bei Kindern in Westafrika, wofür er 2002 den „Dream Action Award“ des niederländischen Chemiekonzerns DSM erhielt. Mit dem Preisgeld in Höhe von 1,3 Millionen Euro wurde eine Patientenstudie in Burkina Faso finanziert, um die Wirkstoff-Kombination zu testen. Das Projekt gehörte zum Heidelberger Sonderforschungsbereich „Kontrolle tropischer Infektionskrankheiten“ (SFB 544).

was die Menschen vor einer schweren Malariaerkrankung schützt.

Lange Wanderstrecken

Wir haben in unserer Arbeitsgruppe „Integrative Parasitologie“ am Zentrum für Integrative Infektionsforschung intensiv die beiden Formen des Malariaerregers untersucht, die die größeren Wanderungen unter-

nehmen: die beweglichen Eizellen und die sogenannten Sporoziten. Sporoziten sind diejenigen Formen des Parasiten, die sich in der Zyste im Mückenmagen bilden, in die Speicheldrüse der Mücke gelangen und über den Stich der Mücke und den Blutweg bis in die Leber des Menschen vordringen. Die Frage, die wir mit unseren Forschungsarbeiten zunächst beantworten wollten, lautete: Welche Proteine auf der Oberfläche der Endothelzellen im Innern der Blutgefäße binden an die Sporoziten und unterstützen deren Fortbewegung? Der therapeutische Gedanke dahinter: Die molekulare Verbindung der menschlichen Endothelzelle mit dem Parasiten ließe sich womöglich verhindern, zum Beispiel mit Antikörpern, die die molekulare Bindungsstelle blockieren.

Um unsere These zu prüfen, haben wir uns ein Experiment ausgedacht, das auf dem Papier vergleichsweise einfach aussah: Im Labor wollten wir Sporoziten mit Endothelzellen zusammenbringen und mit einer Videokamera aufzeichnen, wie sich die Sporoziten auf den menschlichen Zellen bewegen. Im nächsten Schritt wollten wir identifizierte Oberflächenproteine der Endothelzellen mit molekularbiologischen Methoden entfernen und dann beobachten, in welcher Weise die Bewegung der Parasiten davon beeinflusst wird. Der Versuch endete mit einer Enttäuschung: Die Sporoziten bewegten sich nicht auf den Endothelzellen. Wir wiederholten den Versuch mehrfach, um Fehler auszuschließen, wir verwendeten verschiedene Endothelzellen und führten zahlreiche Kontrollen durch – und wieder bewegte sich nichts. Als Erklärung blieb schließlich nur ein Grund: Könnte es womöglich sein, dass sich die Parasiten auf den Endothelzellen nicht bewegen, weil die Zellen unabhängig von der biochemischen Zusammensetzung schlichtweg zu weich für die Erreger sind?

Dieser Überlegung sind wir mit einem weiteren Versuch nachgegangen: Wir versetzten die Parasiten in künstliche Umgebungen, die sich ausschließlich in ihrer Elastizität unterscheiden. Dazu vernetzen wir Acrylamid, das dann ein schwabbeliges Gel bildet. Je nach Grad der Vernetzung lassen sich Gele mit unterschiedlicher Elastizität herstellen: Man kann die Acrylamid-

gele so weich wie Endothelzellen machen – oder so hart wie Muskel-, Haut- oder Leberzellen. Wenn man nun die Parasiten auf die unterschiedlichen Gele gibt, lässt sich beobachten, ob und wie sie sich darauf bewegen. Dabei zeigte sich: Auf den härteren Gelen bewegen sich die Parasiten ohne jede Probleme; auf den weichen Gelen aber gelingt ihnen das nicht.

Es stellt sich die Frage, was das biologisch zu bedeuten hat. Menschen werden von den Mücken oft an Händen oder Füßen gestochen – der Parasit hat dann einen sehr weiten Weg vor sich, um via Blutgefäße zur Leber, seinem eigentlichen Ziel, zu gelangen. Würde er auf dieser Strecke mit seinen Oberflächenproteinen unentwegt an die Endothelzellen der Blutgefäße andocken, drohte er verloren zu gehen. Für sein Fortkommen und Überleben ist es besser, nicht an den Endothelzellen haften zu bleiben, sondern an den weichen Zellen vorbei zu rutschen.

Diesen Zusammenhängen gehen wir nun in weiteren Experimenten gemeinsam mit der Physikerin und Materialwissenschaftlerin Christine Selhuber-Unkel vom neu gegründeten Institute for Molecular Systems Engineering and Advanced Materials der Universität Heidelberg nach. Wir wollen dafür Gele herstellen, mit denen wir die feinen Unterschiede in der Steifigkeit von Zellen nachahmen können. Parallel dazu wollen wir messen, auf welchen Zellen sich der Parasit gut, schlecht oder gar nicht bewegt. Weitere interdisziplinäre Forschungsarbeiten erfolgen im Rahmen des Sonderforschungsbereichs „Integrative Analyse der Replikation und Ausbreitung pathogener Erreger“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit Kolleginnen und Kollegen aus der Physik und der Chemie sowie den Ingenieurwissenschaften. ●

**DER
ZUKUNFT**

VORRAUS

DER ZUKUNFT VORAUSS

IM SPANNUNGSFELD VON HARD- UND SOFTWARE

HOLGER FRÖNING

Die Grenze zwischen Soft- und Hardware bestimmt auch die Grenze zwischen der Leistungssteigerung von Computern und deren Programmierbarkeit. Diesem Spannungsfeld, das derzeit eine der grundlegendsten Fragestellungen der Informatik darstellt, widmen sich Forscherinnen und Forscher am Institut für Technische Informatik der Universität Heidelberg.

W

Will man Computer leistungsfähiger machen, muss man sie spezialisieren. Dazu wird dem Prozessor, der zentralen Recheneinheit des Computers, eine spezielle Hardware – beispielsweise für eine Matrizenmultiplikation – hinzugefügt, die häufig wiederkehrende Aufgaben übernimmt. Man kann für den Prozessor auch eine komplett neue Architektur entwickeln, was eine noch umfassendere Spezialisierung und somit eine noch größere Rechenleistung verspricht. Betrachtet man die Spezialisierung als Aspekt der Hardware und die Programmierbarkeit als Aspekt der Software, dann wird der Verlauf der Grenze zwischen Soft- und Hardware interessant.

Im Falle der Spezialisierung kann man sich diese Grenze bis weit hin zur Software verschoben vorstellen: Eine komplette Spezialisierung wäre unglaublich schnell und effizient – sie ist aber nicht in Einklang zu bringen mit der Programmierbarkeit und mit Innovationen in Algorithmen und Anwendungen. Daraus resultieren weniger Flexibilität und weniger Anwendungsmöglichkeiten. Weil „mehr Spezialisierung“ stets mit „weniger Programmierbarkeit“ einhergeht, wird aktuell nach Prozessorarchitekturen gesucht, die sowohl den steigenden Anforderungen an Anwendungen als auch der möglichst umfassenden Programmierbarkeit gerecht werden können. Dieses Spannungsfeld zwischen Leistungssteigerung und Programmierbarkeit – und somit die Grenze zwischen Soft- und Hardware – ist eine der derzeit grundlegenden Fragen der Informatik.

Die Komplexität von Milliarden Transistoren

Die meisten Computer basieren auf der „Turingmaschine“, so benannt nach dem britischen Mathematiker Alan Turing, der sie in den 1930er-Jahren eingeführt hat. Es handelt sich dabei nicht um eine Maschine im herkömmlichen Sinn, sondern um ein mathematisches Modell der theoretischen Informatik für Aufgaben der Datenverarbeitung wie bei Servern, Workstations und Laptops, bei autonomen Systemen wie Drohnen, selbstfahrenden Autos oder anderen Robotern oder für Computerspiele und sogenannte Wearables-Computersysteme, die während der Anwendung am Körper getragen werden wie beispielsweise Datenbrillen oder Smartwatches. Bei diesem Modell, das Betrachtungen zur Berechenbarkeit ermöglicht, existieren keine Grenzen zwischen Hard- und Software; diese sind lediglich abhängig von der

gewählten Implementierung. Heute beruhen nahezu alle Implementierungen auf der digitalen CMOS-Technologie als Bauform für Transistoren. In diesem Kontext ist das „Moore’sche Gesetz“ wohlbekannt: Es besagt, dass sich die Anzahl der (CMOS-)Transistoren alle zwei Jahre verdoppelt, was in der Regel zu einer substantiellen Leistungssteigerung der Computer führt, weil immer mehr Transistoren immer komplexere Prozessorarchitekturen ermöglichen. Aktuell haben die kleinsten Transistoren eine Größe von fünf Nanometern, und Prozessoren können in integrierten Schaltkreisen auf einer Fläche von circa 400 mm² bis zu 50 Milliarden Transistoren integrieren.

Es ist illusorisch anzunehmen, dass Anwender diese Komplexität umfassend verstehen können – daran scheitern selbst Experten. Helfen kann einer der wichtigsten Grundpfeiler der Informatik, die Abstraktion. Sie hat zum Ziel, Komplexität zu verstecken und dennoch ein ausreichendes

Institut für Technische Informatik (ZITI)

Die Forschung am Institut für Technische Informatik (ZITI) beschäftigt sich im Bereich „Innovative Computing“ mit der Funktionsweise, dem Aufbau und der Nutzung von Hardware- und Softwarearchitekturen zur Erfassung und Verarbeitung von Daten, um Algorithmen an die Stärken und Schwächen der verwendeten Architektur anzupassen. Das Institut ist mit vielen Forschungsbereichen der Universität Heidelberg vernetzt, in denen Daten erfasst oder rechenintensive Aufgaben bewältigt werden. Übergeordnetes Ziel ist in der Regel eine substantielle Steigerung der Rechenleistung sowie der Energieeffizienz oder eine Reduktion der Leistungsaufnahme. Für die Lösung von Problemstellungen im Bereich von Sensorik oder Datenkommunikation kann das ZITI auch Mikrochips von Grund auf neu entwerfen.

Neben dieser Spezialisierung befasst sich das Institut mit effizienter Programmierung, verfügt über eine Vielzahl von verschiedenen Rechenbeschleunigern und untersucht so Methoden und Arbeitsflüsse für hocheffiziente Datenverarbeitung. Weiterhin werden im Bereich Biorobotik und Biomechanik disziplinenübergreifend neue Technologien entwickelt, die Biologie und Robotik symbiotisch miteinander verbinden, um eine effizientere Kommunikation zwischen Maschinen zu ermöglichen, die mit biologischen Systemen interagieren. Ziel sind robotische Geräte, die beispielsweise in der neurologischen Rehabilitation oder zur Unterstützung des Menschen in der Arbeitswelt eingesetzt werden können.

www.ziti.uni-heidelberg.de

Verständnis der zugrunde liegenden Funktionsweise, Architektur oder Organisation zu ermöglichen. Somit existiert für eine Prozessorarchitektur immer eine zugehörige Abstraktion, fachsprachlich „Instruction Set Architecture“ – kurz ISA – genannt. Sie ist eine Art Vertrag zwischen Programmierer und Prozessor und definiert die Grenze zwischen Soft- und Hardware. In der Abstraktion kann ein Prozessor bestimmte Anweisungen – die Instruktionen – schnell und parallel in Hardware ausführen. Die Flexibilität im Hinblick auf die Möglichkeiten der Anweisung – die Parameter der Instruktion – hingegen sind eingeschränkt. Das bedeutet: Innovationen in den Algorithmen müssen entsprechend den gegebenen Instruktionen formuliert werden.

Die „Matrizenmultiplikation“ ist ein klassisches Beispiel. Dabei werden die Elemente der Zeilen der ersten Matrize mit Elementen der Spalten der zweiten Matrize paarweise multipliziert und addiert. Bei zweidimensionalen Matrizen

ergeben sich drei äußere Schleifen: zwei Schleifen für die Dimensionen und eine Schleife für die Iteration über der Zeile beziehungsweise Spalte. In der innersten Schleife werden Elemente aus dem Speicher in den Prozessor geladen, Elemente paarweise multipliziert und akkumuliert. Für all diese Schritte gibt es entsprechende Instruktionen, ebenso für die Umsetzung der Schleifen bezüglich Indexarithmetik und Kontrollfluss.

Viele Möglichkeiten der Spezialisierung

Einen Algorithmus über solche Instruktionen anzupassen ist sehr einfach. Insgesamt ist dieser konventionelle Ansatz jedoch eher ineffizient, weil für eine Ausführung auf einer komplexen Prozessorarchitektur viele Instruktionen geladen, decodiert und interpretiert sowie der Daten- und Kontrollfluss berücksichtigt werden müssen. Man kann sich für eine Matrizenmultiplikation aber auch eine einzelne, spezialisierte Instruktion vorstellen – zum Beispiel eine

„Wenn sowohl Hardware als auch Software veränderbar sind, wirft dies schnell die Frage auf, wo die Grenzlinie zwischen den beiden Komponenten am besten zu ziehen ist.“

Instruktion, die in Bezug auf die Matrixgröße parametrisierbar ist, ansonsten aber alle vorherigen Schritte integriert. Kombiniert mit einer entsprechenden Hardwareeinheit wird eine Ausführung dann um Größenordnungen effizienter – die Flexibilität der Berechnung aber geht verloren.

Es gibt noch viele weitere Möglichkeiten der Spezialisierung. Ein Beispiel sind Grafikprozessoren für nichtgrafische Anwendungen: Sie sind Standardprozessoren sehr ähnlich – beide basieren auf parallelen Vektorarchitekturen –, unterscheiden sich jedoch durch ein grundsätzlich anderes Ausführungsmodell und durch die Dimensionierung einzelner Komponenten. Für Grafikprozessoren ergibt sich dadurch ein deutlicher Vorteil im Hinblick auf viele Anwendungen, insbesondere in den Bereichen maschinelles Lernen und wissenschaftlich-technisches Rechnen. Aus Systemsicht führen die hochgradig unterschiedlichen Ausführungsmodelle jedoch zu Ineffizienzen, vor allem dann, wenn mehrere Komponenten interagieren. Unsere Arbeitsgruppe im Institut für Technische Informatik der Universität Heidelberg hat in den vergangenen Jahren mehrere neuartige Kommunikationsmodelle für verteilte Grafikprozessoren vorgeschlagen, die auf einer Vielzahl von Grafikprozessoren basieren und auch die Aspekte der Programmierbarkeit von Systemen adressieren.

Hardware Sprachen

Grundsätzlich ist auch eine Hardwarekomponente wie ein Prozessor veränderbar. Hierfür existieren Sprachen, die Hardware beschreiben, wobei es sich hauptsächlich um Programmiersprachen für die sogenannte transistorbasierte Logik handelt. In der Praxis ist der Entwurf von Hardwarekomponenten jedoch eingeschränkt, weil jede Veränderung eine neue Produktion mit moderner CMOS-Technologie erfordert, die zu Einmalkosten im Bereich von rund 100 Millionen Euro führen kann. Andere Möglichkeiten bietet die rekonfigurierbare Logik. Sie basiert auf sogenannten FPGAs (integrierte Schaltkreise der Digitaltechnik) und kleinen eingebetteten Systemen, die geringere Einmalkosten haben und aufgrund ihrer geringen Leistungsaufnahme gerade im mobilen Bereich häufig anzutreffen sind.

Wenn sowohl Hardware als auch Software veränderbar sind, wirft dies schnell die Frage danach auf, wo die Grenzlinie zwischen den beiden Komponenten am besten zu ziehen ist. Das genau ist die Frage, mit der sich das „Hardware/Software-Codesign“ befasst: Es sucht eine möglichst gute Gesamtarchitektur für ausgewählte Anwendungen. Die Entwurfsprozesse von Soft- und Hardware unterscheiden sich jedoch grundlegend: Ein Softwareentwurf orientiert sich primär an der Zeit und ist hochgradig flexibel; die wesentliche Zielmetrik eines Hardwareentwurfs indes ist die Größe der Chipfläche, und aufgrund des deutlich längeren Entwurfsprozesses zudem relativ unflexibel. Das traditionelle Hardware/Software-Codesign berücksichtigt diese Unterschiede

über einen zweigeteilten, üblicherweise wechselseitigen und iterativen Entwurfsprozess. Moderne Codesign-Ansätze verbessern diesen Ansatz mit einer vereinheitlichten Programmierung, mit Modellen, die Leistung und Kosten vorhersagen können sowie mit einer Abkehr vom traditionellen Wasserfallmodell der Softwareentwicklung. Unsere Arbeitsgruppe interpretiert das Hardware/Software-Codesign darüber hinaus so, dass auch mehrere alternative Prozessorarchitekturen Teil des Entwurfsraums sind.

Aufgrund der Spezialisierung existieren heute sehr viele unterschiedliche Prozessorarchitekturen. Das führt zu der Frage, für welche Anwendung oder für welchen Algorithmus welche Prozessorarchitektur am besten geeignet ist. Dieses Problem betrachten wir im „DeepChip-Projekt“ für Modelle des maschinellen Lernens, einer der wichtigsten und anspruchsvollsten Anwendungen, sowohl was das Trainieren dieser Modelle angeht als auch deren Nutzung auf kleinen mobilen Geräten. Einige unserer wichtigsten während des DeepChip-Projekts erarbeiteten Erkenntnisse bestehen darin, dass die Modelle des maschinellen Lernens oft deutlich überdimensioniert sind und dass es viele Möglichkeiten gibt, sie zu komprimieren, etwa über dünn besetzte Datenstrukturen oder über andere Datentypen. Wir konnten zudem zeigen, dass auch nicht spezialisierte Prozessorarchitekturen, beispielsweise ARM-Prozessoren, eine gute Wahl sein können, wenn man gut geeignete Methoden zur Ausführung der Modelle wählt. Dünn besetzte Strukturen sind weiterhin ein hervorragendes Beispiel für das Spannungsfeld zwischen reduzierter Komplexität und dem Aufwand für Codierung und Ausführung, insbesondere auf massiv parallelen Prozessoren. Wir plädieren auch deshalb dafür, dass Hardware/Software-Codesign nicht wie bislang als gleichzeitigen Entwurf von Hardware und Software zu interpretieren, sondern alle Schichten eines Rechnermodells einzubeziehen, das System als Ganzes zu betrachten und somit auch vorhandene Komponenten in die Überlegungen einzubeziehen.

Zukunftsbetrachtungen

Die Zukunft der Computertechnologie lässt sich aufgrund vieler Unsicherheiten nicht im Detail verlässlich vorher-sagen. Sicher lässt sich aber sagen, dass Diversität und Heterogenität der Prozessorarchitekturen auch künftig weiter zunehmen werden, so dass für eine Anwendung mehr Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung stehen werden. Schon seit Jahren skaliert das Moore'sche Gesetz nicht mehr so wie gewohnt, es sei hier aber daran erinnert, dass es sich um ein ökonomisches Gesetz handelt, das somit lediglich ökonomische Auswirkungen beobachten lässt. Wir gehen unabhängig von den ökonomischen Auswirkungen hingegen davon aus, dass die zugehörige CMOS-Technologie noch durchaus bis zu zehn Jahre weiter skaliert und somit weiterhin mehr Transistoren zur Verfügung stehen werden. Als Konsequenz wird der Hardwareent-

**„Das Hardware/
Software-Codesign
befasst sich mit
einer möglichst guten
Gesamtarchitektur
für ausgewählte
Anwendungen.“**



PROF. DR. HOLGER FRÖNING ist seit 2019 Professor am Institut für Technische Informatik der Universität Heidelberg (ZITI) und leitet dort die „Computing Systems Group“. Nach dem Studium der Technischen Informatik und der Promotion an der Universität Mannheim kam er 2008 im Rahmen einer Kooperation mit der Universität Politècnica de València (Spanien) an die Universität Heidelberg und wurde 2011 Juniorprofessor am ZITI. Als Gastwissenschaftler forschte er bei NVIDIA Research im kalifornischen Santa Clara (USA) und an der Technischen Universität in Graz (Österreich). 2020 wurde er als Gastwissenschaftler an die Chinesische Akademie der Wissenschaften berufen. Holger Frönings Forschungsinteressen konzentrieren sich auf Hardware- und Softwarearchitekturen sowie deren Einsatz für maschinelles Lernen und Hochleistungsrechnen. Mehrere seiner wissenschaftlichen Arbeiten haben einen Best-Paper-Award erhalten.

Kontakt: holger.froening@ziti.uni-heidelberg.de

wurf von spezialisierten Prozessoren für immer weniger Unternehmen ökonomisch machbar sein, was hingegen ein weiterer Grund ist, im Hardware/Software-Codesign vorhandene Komponenten mit zu berücksichtigen.

Hingegen ist unseres Erachtens eine viel relevantere Einschränkung der CMOS-Technologie, dass es teurer ist, Daten zu bewegen als Daten zu berechnen. Dies steht im Kontrast zu den grundlegenden Modellen der theoretischen Informatik, die Komplexität über den Aufwand der Berechnung abbilden. Die Betrachtung der Datenbewegung als Komplexitätsmetrik erfordert gänzlich neue Ansätze, um das Bewegen von Daten zu verringern oder gar zu vermeiden. Da die Kosten einer Datenbewegung auch von der zu überwindenden Distanz abhängen, kann es sogar notwendig sein, die Lokalität um ein Distanzmaß zu erweitern.

Wir können also weiterhin mit steigenden Mengen an Transistoren rechnen – allerdings sind integrierte Schaltkreise aus technischen Gründen in der Leistungsaufnahme stark limitiert. Die Fachliteratur bezeichnet dies als „Dark Silicon“: Transistoren sind zwar vorhanden, können aber aufgrund der limitierten Leistungsaufnahme nicht genutzt werden. Die bereits beschriebenen Grafikprozessoren sind auch hier ein gutes Beispiel für Innovationen: Ihre zugrunde liegende massiv parallele Architektur erlaubt es, die Ausführungseinheiten zu vereinfachen und die Operationsfrequenz zu reduzieren. Damit kann bei gleicher Leistungsaufnahme eine höhere Rechenleistung realisiert werden. Die Konsequenz einer derart massiven parallelen Ausführung sind weitere Anforderungen, die an Berechnungsvorschriften gestellt werden müssen, insbesondere dann, wenn es die dafür notwendige Lokalität zu berücksichtigen gilt: Die Berechnungsvorschriften müssen aus vielen unabhängigen Teilen bestehen (Parallelität), die sich größtenteils gleich verhalten sollten (Regularität), die sich gleichzeitig gut planbar sein müssen (Vorhersagbarkeit). Sonst entstehen auf massiv parallelen Systemen bei der Ausgabe und Ausführung von Anweisungen Ineffizienzen.

Aktuell existieren neben der CMOS-Technologie einige vielversprechende Kandidaten, etwa Quantencomputer oder sogenannte neuromorphe Computer. Es handelt sich jedoch meist um Erweiterungen, keiner der Kandidaten ist ein vollwertiger Ersatz. Grundlegend aber ist: Alle diese Alternativen erfordern neue Ansätze für die Hardware/Software-Schnittstelle; sie sind somit disruptiv in Bezug auf existierende Lösungen. Hingegen gibt es im Kontext von CMOS auch viele Innovationen, beispielsweise neuartige Transistoren, ein extremes Verringern der Versorgungsspannung und nicht zuletzt Speichertechniken, die sich besser mit CMOS kombinieren lassen. Diese Innovationen sind nicht oder deutlich weniger disruptiv als die vorab genannten CMOS-Alternativen.

„Die Grenze zwischen Hardware und Software stellt nicht nur die Grenze zwischen Programmierbarkeit und Leistungsfähigkeit dar – sie ist zugleich eine der wichtigsten Abstraktionen der Informatik.“

AHEAD OF ITS TIME

THE TRADE-OFF BETWEEN HARDWARE AND SOFTWARE

HOLGER FRÖNING

The boundary between software and hardware also defines the boundary between a computer's performance and its programmability. Shifting the boundary towards hardware allows for more flexibility in programming, but performance is diminished as more functionality is implemented in software, which is slow in comparison to hardware. By contrast, shifting the boundary towards software means that more functionality is implemented in fast, efficient, but rigid hardware, creating the opposite effect. While the latter is desirable from a performance point of view, it prevents innovation in applications and algorithms. Researchers at the Institute of Computer Engineering (ZITI) of Heidelberg University are attempting to solve this trade-off, which is currently one of the most fundamental problems in computer science. ●

PROF. DR HOLGER FRÖNING has been a professor at Heidelberg University's Institute of Computer Engineering (ZITI) since 2019, where he heads the "Computing Systems Group". After graduating in computer engineering and obtaining his PhD from the University of Mannheim, he started at Heidelberg University in 2008 in the context of a collaboration with the Universitat Politècnica de València (Spain), and became a junior professor at ZITI in 2011. He was a visiting scientist at NVIDIA Research in Santa Clara, California (USA) and at Graz University of Technology (Austria). In 2020, he was appointed visiting scientist at the Chinese Academy of Sciences. Holger Fröning's research interests are hardware and software architectures and their use for machine learning and high-performance computing. Several of his publications have received a Best Paper Award.

Contact: holger.froening@ziti.uni-heidelberg.de

“If both hardware and software are modifiable, we are soon faced with the question of where to draw the boundary between these two components.”

„Die Diversität und Heterogenität der Prozessorarchitekturen wird auch künftig weiter zunehmen, so dass für eine Anwendung mehr Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung stehen werden.“

Eine der wichtigsten Abstraktionen der Informatik

Halten wir fest: Die Grenze zwischen Hard- und Software stellt nicht nur die Grenze zwischen Programmierbarkeit und Leistungsfähigkeit dar – sie ist zugleich eine der wichtigsten Abstraktionen der Informatik. Eine Verschiebung der Grenze bis hin zum Extrem einer nicht mehr programmierbaren Hardware würde zwar eine höhere Computerleistung um circa drei Größenordnungen erbringen. Sie steht aber im starken Widerspruch zu kontinuierlichen Innovationen in den Anwendungen, Algorithmen und Methoden. Umgekehrt steht eine hohe Programmierbarkeit im Konflikt mit den stetig steigenden Anforderungen, die an Anwendungen gestellt werden, mit deren Hilfe immer größere Probleme immer schneller bearbeitet werden sollen.

Schließen möchte ich mit einem Vergleich der Architektur von Prozessoren mit der Architektur von Gebäuden. In einem Beitrag in der „Frankfurter Allgemeinen Zeitung“ hieß es vor einigen Jahren, dass sich der architektonische Wert eines Gebäudes erst dann erweise, „wenn es in vollkommen gewandelten ästhetischen und politischen Verhältnissen nicht nur standhält, sondern ihnen sogar entgegenkommt“. Für die Prozessor- und Systemarchitektur gilt Ähnliches: Sie muss gewandelten Verhältnissen bezüglich Anwendungen, Algorithmen und Methoden nicht nur standhalten, sondern solche Veränderungen beziehungsweise Innovationen durch entsprechende Flexibilität sogar fördern. Nur dann kann sich auch der Wert der Prozessorarchitektur über die Zeit bewahren. ●

**FRRESSEN
UND**

**GEFRRESSEN
WERDEN**

FRESSEN UND GEFRESSEN WERDEN

NÜTZLICHE KANNIBALEN

KAI-UWE JARR

Wenn sich Blutfette, zerfallene Zellen und Verkalkungen in den Gefäßwänden einlagern, verhärten und verengen sich die vormals weichen und elastischen Blutgefäße. Das Blut kann nicht mehr richtig fließen, es drohen Herzinfarkt und Schlaganfall. Die Atherosklerose, umgangssprachlich Arterienverkalkung genannt, ist bislang unheilbar. Ein neuer Forschungsansatz lässt erstmals auf Medikamente hoffen, die die gefährlichen Ablagerungen in den Gefäßen auflösen können.

W

„Wir leben nicht, um zu essen; wir essen, um zu leben.“ Was Sokrates über die Bedeutung der Ernährung für den menschlichen Körper sagte, gilt auch für jede einzelne unserer Zellen. Selbst dann noch, wenn Körperzellen wie Kannibalen über andere Körperzellen herfallen und sie verspeisen. Was grausam klingt, ist lebensnotwendig und ein präziser biologischer Prozess. Gerät das Verschlingen der Zellen aus dem Gleichgewicht, entstehen schwere Erkrankungen. Ein prominentes Beispiel dafür ist die Atherosklerose, umgangssprachlich als Arterienverkalkung bekannt. Sie ist die häufigste Todesursache der Welt und fordert mehr Menschenleben als alle Krebsarten zusammen.

Diese bislang unheilbare Erkrankung, die vormals weiche, elastische Blutgefäße verhärten und verengen lässt, beginnt damit, dass sich überschüssige Fette in die Gefäßwand einlagern. In der Folge kommt es zu einer schwelenden Gefäßentzündung. Typischerweise bildet sich im Innern der Gefäßablagerung ein „nekrotischer Kern“, der als eine Art Friedhof veranschaulicht werden kann: Hier lagern sterbende und tote Zellen, veränderte Blutfette, instabile Blutgefäße, Verkalkungen und weitere Komponenten. Die Gefäßablagerungen, fachsprachlich „atherosklerotische Plaques“ genannt, werden von einer festen Kappe aus Bindegewebe bedeckt. Sie schirmt die Plaques gegen das Blut ab, kann jedoch ausdünnen und einreißen. Bestimmte Faktoren begünstigen das Einreißen der Kappe, etwa die Größe des nekrotischen Kerns, eine aktive Entzündung des Gefäßes, und auch erbliche Faktoren spielen eine Rolle. Auf einen Riss der Kappe reagiert der Körper wie auf eine Verletzung eines Blutgefäßes. Diejenigen Zellen des Blutes, die für die Blutgerinnung zuständig sind (Blutplättchen oder Thrombozyten), lagern sich an, um

„Bei Patienten mit Atherosklerose ist der natürliche Prozess des Verspeisens von Zellen durch Makrophagen gestört – warum das so ist, ist erst in Ansätzen verstanden.“

den Riss zu reparieren. Dabei bilden sie einen Blutpfropf (Thrombus), der das ohnehin schon verengte Gefäß komplett verstopft. Am Gehirn entsteht dadurch ein Schlaganfall, am Herz ein Herzinfarkt.

Lebensnotwendige Aufräumarbeiten

Normalerweise sind Makrophagen, die „Fresszellen“ des Immunsystems, dafür zuständig, Bestandteile der Plaques zu entfernen und so einer folgenschweren schwelenden Gefäßentzündung vorzubeugen. Um sicherzugehen, dass sich die Makrophagen bei ihren Aufräumarbeiten nicht etwa funktionstüchtige Zellen einverleiben, hat die Natur ein ausgeklügeltes System von „Friss mich“- und „Friss mich nicht“-Signalen entwickelt. Eine junge, vitale Zelle, die ihr Leben noch vor sich hat,

trägt auf ihrer Oberfläche eine große Zahl von „Friss mich nicht“-Proteinen, die sie vor den hungrigen Makrophagen schützt. Eine alte, eine beschädigte oder eine sterbende Zelle hingegen präsentiert auf ihrer Oberfläche überwiegend „Friss mich“-Aufforderungen. Das derart gut vorbereitete Verspeisen von sterbenden Zellen durch Makrophagen wird fachsprachlich „Efferozytose“ genannt, abgeleitet vom lateinischen Verb „efferre“ für „zu Grabe tragen“. Entscheidend ist, dass dieser Prozess nicht entzündlich abläuft, sondern häufig sogar entzündungshemmend ist. Die Efferozytose erfolgt in drei Schritten: In der „Geruchsphase“ werden Makrophagen dazu animiert, aus dem Blut in die Plaques einzuwandern; in der „Geschmacksphase“ prüfen die Makrophagen das Verhältnis von „Friss mich“- und „Friss mich nicht“-Signalen auf der Oberfläche der Zellen; und in der „Verdauungsphase“ verleiben sich die Makrophagen die als „Friss mich“ gekennzeichneten Zellen ein und produzieren entzündungshemmende Botenstoffe.

Bei Patienten mit Atherosklerose ist dieser natürliche Prozess gestört – warum das so ist, ist erst in Ansätzen verstanden. Als gesichert gilt, dass die sterbenden Zellen in den atherosklerotischen Plaques zu viele „Friss mich nicht“-Signale präsentieren, was den Makrophagen den Appetit verdirbt. In der Folge werden in den krankhaften Ablagerungen Substanzen freigesetzt, die eine Entzündung und damit das Risiko von Gefäßverschlüssen begünstigen. Es ist also nicht allein das Wachstum der Plaques, das das Risiko für einen drohenden Gefäßverschluss erhöht. Eine verminderte Efferozytose ist somit auch Quelle für gefährliche Botenstoffe, die Entzündungszellen des Immunsystems anlocken und eine chronische, nicht heilende Entzündung in der Gefäßwand hervorrufen.

Appetithäppchen für Fresszellen

Was während der gestörten Efferozytose auf Ebene der Zellen schief läuft, ist ebenfalls noch nicht vollständig verstanden. Vereinfacht lässt sich festhalten, dass sterbende Zellen für die Makrophagen entweder „ungenießbar“ geworden sind oder sich der „Appetit“ der Fresszellen

verringert hat. Für beide Erklärungen gibt es Anhaltspunkte. Fälschlicherweise produzierte Antikörper des Immunsystems können beispielsweise die „Friss mich“-Signale sterbender Zellen blockieren. Dann sinkt die Fähigkeit der Fresszelle, ihrer natürlichen Aufgabe nachzukommen, denn sie erkennen nicht mehr die Aufforderung, diese Zellen wegzuräumen. Zwischen den entzündlichen Vorgängen und dem gestörten Fressverhalten von Makrophagen scheint zudem eine enge Verbindung zu bestehen. Während einer chronischen Entzündung werden vermehrt Proteine gebildet, die „Friss mich“-Signale auf der Oberfläche von Zellen aufspalten und damit unkenntlich machen.

Bislang gibt es erstaunlicherweise keine Möglichkeit beziehungsweise keine Therapie, mit der die Ablagerungen in der Gefäßwand unmittelbar beeinflusst werden können. Das Fortschreiten der Atherosklerose kann allenfalls indirekt gebremst werden, indem man zusätzliche negative Einflüsse wie Bluthochdruck oder erhöhte

Blutfettwerte konsequent behandelt. Das Minimieren von Risikofaktoren stellt zwar durchaus einen Meilenstein in der Behandlung der Atherosklerose dar, dennoch ist sie noch immer die weltweit häufigste Todesursache. Neue zielgerichtete therapeutische Ansätze sind daher dringend erforderlich.

Eine Idee wäre, die begleitende Gefäßentzündung – einen wesentlichen Antreiber für einen lebensbedrohlichen Verlauf der Erkrankung – mit entzündungshemmenden Medikamenten zurückzudrängen. Solche Medikamente gibt es, sie haben aber leider zahlreiche Nebenwirkungen, da sie nicht nur begrenzt am Ort der Entzündung, sondern im ganzen Körper wirken. Auch das Immunsystem wird von ihnen beeinflusst, so dass es zu einer erhöhten Anfälligkeit für Infektionen kommt. Ideal wäre es, passgenau „nur“ die Gefäßentzündung zu behandeln. Für eine derart definierte Therapie bieten sich die Makrophagen an. Gemeinsam mit Wissenschaftlern der Universität Stanford (USA) haben wir uns daher die Frage gestellt, wie wir auf Makrophagen einwirken können. Könnte man ihnen gleichsam ein Appetithäppchen servieren, das ihre Freude am Fressen wiederherstellt und sie dazu anregt, entschlossen gegen die Plaques vorzugehen?

Dieser innovative Ansatz basiert auf dem Wissen über das raffinierte System von „Friss mich“- und „Friss mich nicht“-Signalen, die allesamt von Proteinen auf der Oberfläche von Zellen vermittelt werden. Eines dieser Oberflächenproteine ist CD47 – ein wichtiges „Friss mich nicht“-Signal. CD47 wird bei Atherosklerose krankhafterweise vermehrt präsentiert, wodurch das gesamte System aus der Balance gerät. Wie wäre es also, das „Friss mich nicht“-Signal CD47 gezielt zu blockieren und so das verlorene Gleichgewicht wiederherzustellen? Dieser Ansatz verspricht einen direkten anti-atherosklerotischen Effekt – und das gleich in mehrfacher Hinsicht. Aus Untersuchungen mit Tieren wissen wir bereits, dass eine CD47-Blockade der Atherosklerose nicht nur vorbeugen kann, sondern sich bestehende Gefäßablagerungen sogar verkleinern, der nekrotische Kern schrumpft und das gefährliche Aufreißen der Binde-

„Unsere Forschungsergebnisse zeigen erstmals den potenziellen Nutzen einer gezielten Antikörpertherapie bei der folgenschweren Atherosklerose.“



DR. KAI-UWE JARR arbeitet seit 2011 in der Abteilung für Kardiologie, Angiologie und Pneumologie des Universitätsklinikums Heidelberg unter Leitung des Ärztlichen Direktors Prof. Dr. Norbert Frey und lehrt an der Medizinischen Fakultät Heidelberg der Universität Heidelberg. Sein Studium der Humanmedizin absolvierte er in Heidelberg, an der Université Catholique de Lille (Frankreich) und der McGill University in Montreal (Kanada). Nach seiner Promotion 2015 war er von 2018 bis 2021 Postdoktorand in der Arbeitsgruppe des Kardiologen Prof. Dr. Nicholas J. Leeper an der Stanford University (USA). Gemeinsam mit Nicholas Leeper erforscht Kai-Uwe Jarr mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der Deutschen Herzstiftung e.V. neue Therapien für Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems.

Kontakt: kai-uwe.jarr@med.uni-heidelberg.de

gewebskappen verhindert wird. Diese Erkenntnis könnte einen neuen Meilenstein in der Atherosklerosetherapie darstellen, zumal der gesteigerte Hunger der Makrophagen nicht das Risiko für Infektionen erhöht.

In einem nächsten Schritt haben wir diesen neuen Ansatz mit der bisherigen Standardtherapie kombiniert. Viele Menschen, die an Atherosklerose erkrankt sind, nehmen Statine ein – Medikamente, die erhöhte Blutfettwerte senken. In Untersuchungen mit Tieren ließ sich mit der gemeinsamen Gabe von CD47-blockierenden Antikörpern und Statinen sogar ein addierender Effekt in der Therapie von Gefäßablagerungen erzielen.

Auf dem Weg zum Ziel

Aber nicht alles, was in einem Mausmodell gelingt, lässt sich auf den Menschen übertragen, und der Weg von Untersuchungen im Labor bis zu einem Medikament, das Patientinnen und Patienten helfen kann, ist bekanntlich lang und hürdenreich. Glücklicherweise ist allerdings eine Substanz, die das „Friss mich nicht“-Signal CD47 blockieren kann, für den Menschen bereits verfügbar. Es handelt sich um einen Antikörper, der derzeit bei der Behandlung von Patientinnen und Patienten mit einer bestimmten Krebserkrankung der Lymphknoten in klinischen Studien erprobt wird. Diejenigen, die an diesen Studien teilnahmen, waren aufgrund ihres Alters häufig auch an Atherosklerose erkrankt. Während der Behandlung mit dem Antikörper, der sich gegen CD47 richtet, zeigte sich, dass sich bereits nach einer neunwöchigen Therapie die atherosklerotische Gefäßentzündung der Halsschlagader verringerte. Das Nachlassen der Entzündung konnten wir mit bildgebenden Verfahren nachweisen, die im Rahmen der klinischen Studie durchgeführt wurden. Diese Beobachtung zeigt erstmals den potenziellen Nutzen einer gezielten „pro-efferozytischen“ Therapie der Atherosklerose im Menschen.

Einschränkend ist zu sagen, dass bislang nur wenige Patientinnen und Patienten mit dem Antikörper behandelt worden sind. Es gab auch keine Kontrollgruppe, die ein Placebo, also eine Scheinbehand-

lung, erhielt, wie es bei großen klinischen Studien normalerweise üblich ist. Dennoch lassen unsere Daten erstmals darauf hoffen, dass das gestörte Fressverhalten von Makrophagen bei Atherosklerose mit einer gezielten Antikörpertherapie normalisiert werden kann und die Fresszellen des Immunsystems dazu veranlasst werden können, gegen die gefährlichen Gefäßablagerungen vorzugehen. Weiterführende klinische Studien sind notwendig, um unser Wissen über die Zusammenhänge zu vertiefen und den vielversprechenden Behandlungsansatz weiter voranzutreiben. ●

EAT OR BE EATEN

USEFUL CANNIBALS

KAI-UWE JARR

Atherosclerosis is a life-threatening disease and the leading cause of death worldwide. To date, there is no targeted therapy available to cure this disease. In atherosclerosis, the build-up of fatty substances, dying cells and other material causes a thickening or hardening of the formerly elastic arteries. There is strong evidence that an “eating disorder” of the body’s immune cells, which should keep the blood vessels clear of the morbid deposits, is involved in the development of atherosclerotic lesions. For the first time, a new research approach promises to target directly this pathological process. It may thus provide an orthogonal and effective treatment strategy. ●

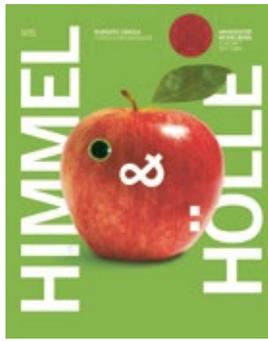
DR KAI-UWE JARR joined the Department of Cardiology, Angiology and Pneumology (Chief: Prof. Dr Norbert Frey) at Heidelberg University Hospital in 2011; he also teaches at Heidelberg University's Medical Faculty in Heidelberg. He studied human medicine in Heidelberg, at the Université Catholique de Lille (France) and at McGill University in Montreal (Canada). He was awarded his doctorate in 2015, and he completed a postdoctoral fellowship under the supervision of Prof. Nicholas J. Leeper at Stanford University (USA) from 2018 to 2021. Together with Nicholas Leeper, Kai-Uwe Jarr hopes to develop new therapies for cardiovascular diseases. His research is supported by the German Research Foundation (DFG) and Deutsche Herzstiftung e.V.

Contact: kai-uwe.jarr@
med.uni-heidelberg.de

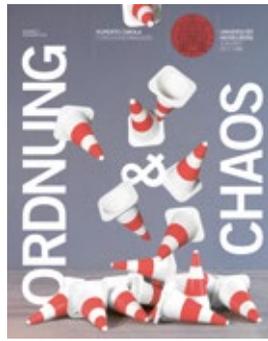
“In patients with atherosclerosis, the natural process by which macrophages engulf and digest cells is disrupted for reasons still largely unknown.”



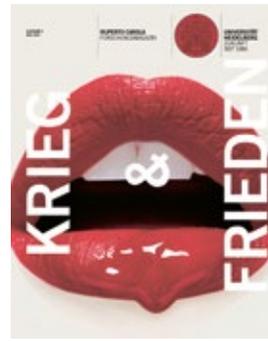
ALT & JUNG
AUSGABE 1
OKTOBER 2012



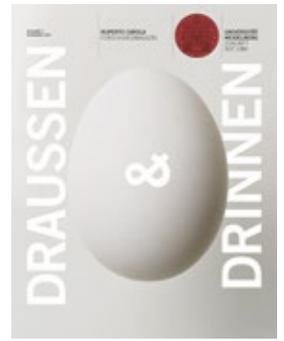
HIMMEL & HÖLLE
AUSGABE 2
APRIL 2013



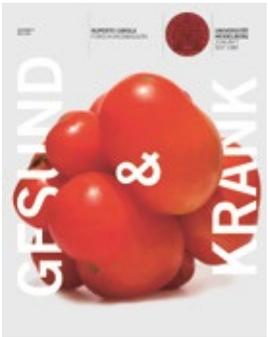
ORDNUNG & CHAOS
AUSGABE 3
NOVEMBER 2013



KRIEG & FRIEDEN
AUSGABE 4
MAI 2014



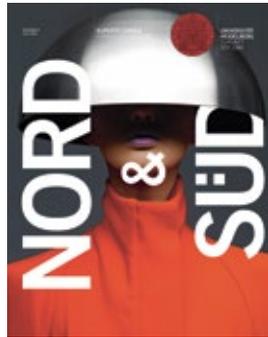
DRAUSSEN & DRINNEN
AUSGABE 5
NOVEMBER 2014



GESUND & KRANK
AUSGABE 6
JUNI 2015



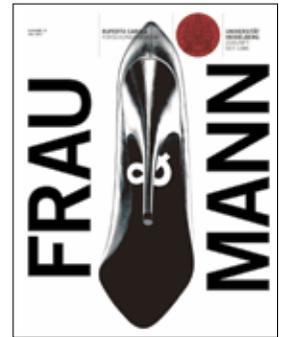
SCHATTEN & LICHT
AUSGABE 7
DEZEMBER 2015



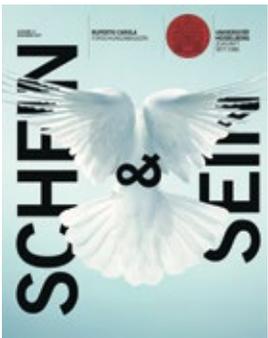
NORD & SÜD
AUSGABE 8
JULI 2016



STOP & GO
AUSGABE 9
DEZEMBER 2016



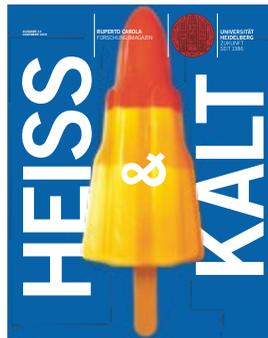
FRAU & MANN
AUSGABE 10
JULI 2017



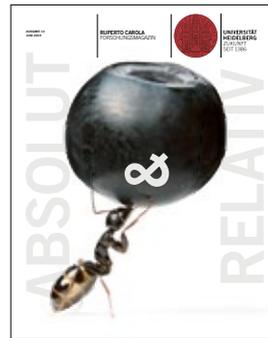
SCHEIN & SEIN
AUSGABE 11
DEZEMBER 2017



STADT & LAND
AUSGABE 12
JUNI 2018



HEISS & KALT
AUSGABE 13
DEZEMBER 2018



ABSOLUT & RELATIV
AUSGABE 14
JUNI 2019



KULTUR & NATUR
AUSGABE 15
DEZEMBER 2019



MASCHINE & MENSCH
AUSGABE 16
JULI 2020



FREUND & FEIND
AUSGABE 17
FEBRUAR 2021



VERBINDEN & SPALTEN
AUSGABE 18
JULI 2021



RAUM & ZEIT
AUSGABE 19
FEBRUAR 2022



WEICH & HART
AUSGABE 20
JULI 2022